



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**IMPLEMENTACIÓN DE ACUMULADORES DE NITRÓGENO PARA EL SISTEMA  
DEL REGULADOR HIDRÁULICO, PLANTA HIDROELÉCTRICA CHIXOY**

**Mario Alexander Cortave López**

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, noviembre del 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE ACUMULADORES DE NITRÓGENO PARA EL  
SISTEMA DEL REGULADOR HIDRÁULICO, PLANTA HIDROELÉCTRICA  
CHIXOY**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MARIO ALEXANDER CORTAVE LÓPEZ**  
ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DEL 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Julio Cesar Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **IMPLEMENTACIÓN DE ACUMULADORES DE NITRÓGENO PARA EL SISTEMA DEL REGULADOR HIDRÁULICO, PLANTA HIDROELÉCTRICA CHIXOY**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 1 de abril del 2010.

  
**Mario Alexander Cortave López**



Guatemala, 08 de febrero de 2011  
REF.EPS.DOC.201.02.11.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Mario Alexander Cortave López** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. **200511666**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"IMPLEMENTACIÓN DE ACUMULADORES DE NITRÓGENO PARA EL SISTEMA DEL REGULADOR HIDRÁULICO, PLANTA HIDROELÉCTRICA CHIXOY"**.

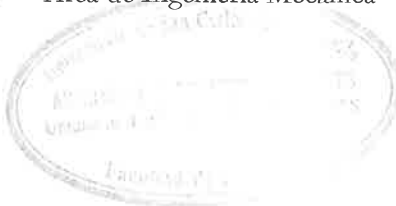
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo  
CACC/ra



Guatemala, 08 de febrero de 2011  
REF.EPS.D.92.02.11

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

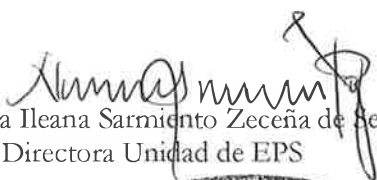
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"IMPLEMENTACIÓN DE ACUMULADORES DE NITRÓGENO PARA EL SISTEMA DEL REGULADOR HIDRÁULICO, PLANTA HIDROELÉCTRICA CHIXOY"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Mario Alexander Cortave López** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS



NISZ/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación de la Directora del Ejercicio Profesional Supervisado, E.P.S., al Trabajo de Graduación titulado IMPLEMENTACIÓN DE ACUMULADORES DE NITRÓGENO PARA EL SISTEMA DEL REGULADOR HIDRÁULICO, PLANTA HIDROELÉCTRICA CHIXOY del estudiante Mario Alexander Cortave López, procede a la autorización del mismo.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

Ing. Julio César Campos Paiz  
**DIRECTOR**



Guatemala, febrero de 2011.

JCCP/behdei



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE ACUMULADORES DE NITRÓGENO PARA EL SISTEMA DEL REGULADOR HIDRÁULICO, PLANTA HIDROELÉCTRICA CHIXOY**, presentado por el estudiante universitario **Mario Alexander Cortave López**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, noviembre de 2011

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Mis padres**

Mario Hugo Cortave Canizales y Wilma Verónica López Pérez, por brindarme su amor, confianza y apoyo incondicional en cada momento de mi vida; esta meta alcanzada es para ustedes.

### **Mis hermanos**

Mónica, Paola, Karla, Nancy, Alejandra y Javier. Por estar siempre a mi lado para apoyarme y demostrarme su cariño día a día.

### **Mis primos**

Jorge, José, Sergio y Amed, por compartir la vida de estudiante a mi lado.

### **Mi novia**

Paola Soria por apoyarme cada momento y sobrepasar a mi lado cada obstáculo al alcanzar esta meta.

### **Mis amigos**

Gracias por su amistad y apoyo moral, cuando más los necesité.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **Dios**

Por la vida y la oportunidad de descubrir los conocimientos que rigen al mundo.

### **Mis padres**

Por sus consejos dados, los cuales me han ayudado y guiado en todo momento, hasta el día de hoy.

### **Mis hermanos**

Porque cada uno es un ejemplo distinto a seguir, que me ha ayudado a edificar mi vida.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XI
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XIII
GLOSARIO.....	XV
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. FASE DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Generalidades de la empresa.....	1
1.1.1. Reseña histórica.....	1
1.1.1.1. Inicio del proyecto.....	3
1.1.1.2. Consultor y contratista.....	8
1.1.2. Producción de energía.....	9
1.1.3. Visión y Misión.....	10
1.1.3.1. Visión.....	10
1.1.3.2. Misión.....	11
1.1.4. Estructura organizacional.....	11
1.2. Conceptos generales.....	13
1.2.1. Propiedades de los fluidos y definiciones.....	13
1.2.1.1. Definición de un fluido.....	13
1.2.1.2. Unidades de fuerza y masa.....	17
1.2.1.3. Viscosidad.....	19
1.2.1.3.1. Viscosidad cinemática.....	23

1.2.1.3.2.	Densidad, volumen específico, peso específico, densidad relativa, presión .....	23
1.2.1.4.	Gas perfecto.....	25
1.2.2.	Introducción a la hidráulica .....	28
1.2.2.1.	Definición y conceptos generales.....	29
1.2.2.1.1.	Definición de presión .....	29
1.2.2.1.1.1.	Presión absoluta .....	30
1.2.2.1.1.2.	Presión atmosférica .....	30
1.2.2.1.1.3.	Presión manométrica .....	30
1.2.2.1.1.4.	Vacío .....	31
1.2.2.1.1.5.	Unidades de presión.....	31
1.2.2.1.2.	Conservación de la energía .....	32
1.2.2.1.2.1.	Energía potencial... ..	35
1.2.2.1.2.2.	Sistemas conservativos .....	36
1.2.2.1.3.	Transmisión de la potencia .....	38
1.2.2.1.4.	Las ventajas de la hidráulica.....	39
1.2.2.1.4.1.	Velocidad variable .....	39
1.2.2.1.4.2.	Reversible.....	39
1.2.2.1.4.3.	Protección de sobrecargas .....	40
1.2.2.1.4.4.	Pueden ser parados .....	40
1.2.2.1.4.5.	Aceite hidráulico.....	40
1.2.2.1.4.6.	Presión en una columna de fluido .....	41
1.2.2.1.4.7.	La presión atmosférica carga la bomba.... ..	41
1.2.2.1.4.8.	El desplazamiento positivo de la bomba crea flujo .....	44

1.2.2.2.	Principio de la potencia hidráulica .....	45
1.2.2.2.1.	Principio de la presión.....	45
1.2.2.2.2.	Principios de flujo.....	45
1.2.2.2.2.1.	Según el tipo de movimiento .....	46
1.2.2.2.2.2.	Según el espacio. ....	47
1.2.2.2.2.3.	Según el tiempo.....	48
1.2.2.2.2.4.	Según el régimen de flujo .....	49
1.2.2.2.3.	Número de Reynolds .....	49
1.2.3.	Fundamentos de la hidrostática.....	51
1.2.3.1.	Ley de la hidrostática .....	51
1.2.3.2.	Ecuación de la continuidad .....	52
1.2.3.3.	Ecuación de Bernoulli.....	54
1.2.3.4.	Ecuación de la energía.....	56
1.2.3.4.1.	Energía cinética .....	56
1.2.3.4.2.	Energía potencial.....	56
1.2.3.5.	Principio de Arquímedes .....	57
1.2.3.6.	Ley de Pascal.....	58
1.2.3.7.	Tensión superficial .....	58
1.2.3.8.	Cavitación .....	60
1.2.4.	Turbo máquinas.....	61
1.2.4.1.	Clasificación de las turbo máquinas hidráulicas .....	62
1.2.4.1.1.	Ruedas hidráulicas .....	64
1.2.4.2.	Turbinas .....	65
1.2.4.3.	Clasificación de las turbinas.....	66
1.2.4.3.1.	Descripción de algunos tipos de turbinas hidráulicas .....	69
1.2.4.3.1.1.	Turbinas de reacción .....	69

1.2.4.3.1.2.	Turbinas de acción .....	71
1.2.4.4.	Principio de funcionamiento de las turbinas	
	Pelton.....	74
1.2.4.5.	Acumulador.....	80
1.2.4.5.1.	Tipos de acumuladores.....	80
1.2.4.5.1.1.	Acumulador de contrapeso ...	81
1.2.4.5.1.2.	Acumulador cargado por muelle .....	81
1.2.4.5.1.3.	Acumulador de pistón.....	83
1.2.4.5.1.4.	Acumulador de gas no separado.....	84
1.2.4.5.1.5.	Acumulador de diafragma . ...	85
1.2.4.5.1.6.	Acumulador de vejiga.....	86
2.	ANÁLISIS DE RIESGO EN LA PLANTA HIDROELÉCTRICA	
	CHIXOY.....	89
2.1.	Tipos de riesgos .....	89
2.1.1.	Riesgos físico .....	89
2.1.2.	Riesgos químicos.....	93
2.1.3.	Riesgos biológicos.....	96
2.1.4.	Riesgos ergonómicos .....	98
2.1.5.	Riesgos psicosociales. ....	99
2.2.	Factores de riesgo predominantes en la Planta Hidroeléctrica	
	Chixoy. ....	99
2.2.1.	Incendio y explosión .....	99
2.2.2.	Sismos y terremotos .....	100
2.2.3.	Tormenta e inundaciones .....	100
2.2.4.	Seguridad vial y transporte .....	101
2.2.5.	Seguridad .....	101

2.2.6.	Social.....	102
2.2.7.	Incendio forestal .....	102
2.3.	Plan de contingencia .....	103
2.3.1.	Propósito del plan de emergencia.....	103
2.3.1.1.	Fin principal del plan.....	103
2.3.1.2.	Objetivos.....	103
2.3.1.3.	Comité de seguridad .....	104
2.3.1.3.1.	Brigadas.....	105
2.3.1.3.2.	Función de brigadas .....	106
2.3.1.3.2.1.	Jefe de brigadas .....	106
2.3.1.3.2.2.	Sub jefe de brigadas .....	106
2.3.1.3.3.	Brigada contra incendio .....	106
2.3.1.3.4.	Brigada de primeros auxilios.....	107
2.3.1.3.5.	Brigada de evacuación .....	107
2.3.1.3.6.	Brigada contra fugas y derrames .....	108
2.3.1.3.7.	Pauta para las brigadas .....	109
2.3.1.3.8.	Pautas para el personal que se encuentra en la zona la emergencia .....	110
2.3.1.4.	Señalización industrial.....	111
2.3.1.5.	Código de colores.....	112
2.3.1.5.1.	Color amarillo y negro... ..	112
2.3.1.5.2.	Color anaranjado .....	113
2.3.1.5.3.	Color verde .....	113
2.3.1.5.4.	Color rojo .....	114
2.3.1.5.5.	Color azul.....	114
2.3.1.5.6.	Color blanco, gris o negro.....	114
2.3.1.6.	Equipo de seguridad e higiene del personal .....	115
2.3.1.7.	Rutas de evacuación.....	116

3. FASE TÉCNICO PROFESIONAL.....	125
3.1. Propuesta técnica.....	125
3.1.1. Situación actual de la planta.....	125
3.1.1.1. El circuito de regulación (función del equipo de regulación) .....	127
3.1.1.2. Bombas de aceite a presión (1000/1010) .....	130
3.1.1.3. Dispositivo regulador de presión .....	132
3.1.1.4. Acumulador de aire (1052).....	134
3.1.1.5. Supervisión de la presión de aceite .....	136
3.1.1.6. Dispositivo manual de mando (2350) .....	137
3.1.1.7. Servoválvula (s2390), (servicio con ETR 20) .....	139
3.1.1.8. Circuito de mando .....	140
3.1.1.9. Tablero indicador y de mando.....	147
3.1.1.10. Sistema de refrigeración de aceite... ..	151
3.1.1.11. Acumulador del aceite a presión (1030).....	152
3.1.2. Descripción del proyecto .....	154
3.1.3. Ventajas y desventajas en la utilización de acumuladores de nitrógeno en el regulador hidráulico y análisis de los beneficios que se obtendrán con la implementación de acumuladores de nitrógeno.....	155
3.2. Modificación en el equipo del regulador hidráulico para la implementación de acumuladores de nitrógeno .....	157
3.2.1. Tipos de accesorios a utilizar en la implementación.....	158
3.2.2. Tiempos de parada en la unidad para realizar la instalación del equipo .....	166
3.3. Estudio económico del proyecto.....	166
3.3.1. Cotización del equipo .....	167
3.3.1.1. Cotización del acumulador de nitrógeno .....	167



3.3.1.2. Cotización de los accesorios .....	167
3.3.2. Gastos por montaje .....	167
3.3.3. Inversión económica.....	167
4. FASE DE ENSEÑANZA – APRENDIZAJE .....	169
4.1. Contenido .....	169
4.1.1. Programa de capacitación .....	169
4.1.1.1. Descripción .....	169
4.1.1.2. Objetivo general .....	169
4.1.1.3. Objetivos específicos .....	169
4.1.1.4. Contenido del programa.....	170
4.1.1.5. Metodología .....	171
4.1.1.6. Medios.....	171
CONCLUSIONES .....	173
RECOMENDACIONES .....	175
BIBLIOGRAFÍA.....	177
ANEXOS .....	179



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Ubicación geográfica Planta Chixoy .....	2
2. Presa en escollera con núcleo central de arcilla .....	4
3. Organigrama Planta Hidroeléctrica Chixoy.....	12
4. Deformación de un fluido.....	14
5. Diagrama Reológico .....	16
6. Modelo para ilustrar el intercambio de la cantidad de movimiento .....	21
7. Transformación de la energía.....	29
8. Transmisión de potencia .....	38
9. Bomba de palanca.....	42
10. Flujo libre .....	46
11. Flujo a presión.....	47
12. Ecuación de la continuidad.....	54
13. Ruedas hidráulicas .....	64
14. Turbinas de acción y reacción.....	67
15. Turbina axial, radial y tangencial .....	68
16. Turbina Fourneyron .....	69
17. Turbina Heuschel-Jonval.....	70
18. Turbina Francis.....	70
19. Turbinas Kaplan .....	71
20. Turbina Pelton .....	72
21. Turbina Schwamkrug.....	72
22. Turbina Girard .....	73

23.	Turbina Michel.....	73
24.	Turbina Pelton .....	74
25.	Cazoletas .....	75
26.	Inyector.....	76
27.	Turbina Pelton de 6 inyectores.....	77
28.	Regulación simple .....	79
29.	Acumulador cargado con muelle.....	82
30.	Acumulador de pistón.....	84
31.	Acumulador de gas no separado.....	85
32.	Acumulador de diafragma .....	86
33.	Acumulador de vejiga.....	87
34.	Organigrama plan de emergencia.....	105
35.	Tipos de señalización industrial.....	111
36.	Croquis Nivel 301.90 .....	117
37.	Croquis Nivel 305.86 .....	118
38.	Croquis Nivel 309.82 .....	119
39.	Croquis almacén general.....	120
40.	Croquis Nivel 301 y 302 .....	121
41.	Croquis Nivel 296.50 .....	122
42.	Croquis Nivel 292 .....	123
43.	Codificación.....	158
44.	Acumulador seccionado.....	160
45.	Partes de recambio .....	162
46.	Filtro seccionado y dimensiones .....	164

## TABLAS

I.	Generación 2009.....	10
II.	Generación 1er. semestre 2010.....	10
III.	Conversiones.....	19
IV.	Unidades de presión.....	32
V.	Tensiones superficiales de otros fluidos.....	59
VI.	Equipo de rescate, evacuación y equipo de incendio.....	116
VII.	Consumo de aceite.....	156
VIII.	Especificaciones.....	159
IX.	Listados de recambios.....	161
X.	Dimensiones del filtro.....	163
XI.	Parte del filtro.....	165
XII.	Cotización de los instrumentos.....	168



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
	Densidad
	Diámetro
<b>F</b>	Fuerza
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>g<sub>0</sub></b>	Gravedad
<b>Hz</b>	Hertz
<b>K</b>	Kelvin
<b>Kp/cm<sup>2</sup></b>	Kilo pascal sobre centímetro cuadrado
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>Kgm</b>	Kilogramos masa
<b>l</b>	Litro
<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos

<b>mA</b>	Miliamperio
<b>mm</b>	Milímetro
<b>Nm</b>	Newton-Metro
<b>N/mm<sup>2</sup></b>	Newton sobre milímetros cuadrados
<b>W</b>	Peso
<b>Pie/s.</b>	Pie sobre segundo
<b>%</b>	Porcentaje
<b>Po</b>	Presión máxima de trabajo
<b>Pu</b>	Presión mínima de trabajo
	Tau



## GLOSARIO

<b>Bar</b>	Unidad de presión atmosférica del Sistema Internacional que equivale a $10^5$ pascal.
<b>By Pass</b>	Conducto artificial o trasplantado mediante el cual se comunican dos puntos de una arteria para evitar una zona dañada o en mal estado.
<b>Deflector</b>	Nombre de cualquier aparato destinado a desviar el flujo de una corriente.
<b>Émbolo</b>	Pieza cilíndrica de un cilindro o una bomba que se mueve de forma alternativa y rectilínea de arriba abajo impulsando un fluido o recibiendo su impulso.
<b>Filtro</b>	Objeto o material que contiene poros de determinado tamaño a través del cual se hace pasar un fluido para separar las partículas que tiene en suspensión.
<b>Husillo</b>	Tornillo grande, metálico o de madera, utilizado para el movimiento de las prensas y otras máquinas similares.
<b>Motor</b>	Máquina que transforma en trabajo mecánico otras formas de energía.

<b>Presión</b>	Fuerza ejercida por unidad de superficie de contacto.
<b>Presóstato</b>	Dispositivo automático que mantiene constante la presión de fluido.
<b>Servomotor</b>	Motor auxiliar que se emplea para amplificar un esfuerzo relativamente pequeño y obtener un trabajo considerable.
<b>Sonda</b>	En mecánica de fluidos, cualquier aparato que se utiliza para medir la velocidad, presión, temperatura o dirección de una corriente fluida.
<b>Trifásico</b>	Se aplica al sistema eléctrico que está formado por tres corrientes alternas iguales con fases que se distancian un tercio de período.
<b>Válvula</b>	Dispositivo que abre o cierra el paso de un fluido por un conducto en una máquina o en un instrumento.

## RESUMEN

Al realizar el estudio para la implementación de acumuladores de vejiga de nitrógeno, se definirán los conceptos y ecuaciones fundamentales del flujo de fluido, incluyendo los conceptos de la ecuación de la continuidad, energía y cantidad de movimiento, así como los fundamentos de la hidrostática, esta parte es exclusiva para flujo de fluidos ideales. Se ha extendido el capítulo con la definición de las turbomáquinas, clasificación de las turbinas, funcionamiento del regulador hidráulico y los tipos de acumuladores que existen.

En la segunda parte, se hace un estudio completo del procedimiento de generación de energía eléctrica dentro de la Planta Hidroeléctrica Chixoy, para determinar los tipos de riesgos que se encuentran dentro de la planta, comprobando que existe un alto nivel de seguridad industrial, resguardando la seguridad del personal. Esto se obtiene debido a que el interior de la planta se encuentra debidamente señalizado, de la mano de la utilización de los códigos de colores y para el personal el equipo de protección adecuado, como el uso de casco, lentes, guantes y tapones ergonómicos para los oídos. Se implementará al manual de seguridad, una serie de pasos o guías para las brigadas que existen dentro de la planta.

Se mostrará el estudio del comportamiento del acumulador de aire del regulador hidráulico trabajando con un rango de presión de 34 – 37 bar, la deficiencia que se observó se encuentra en la compensación de aire para formar  $3/5$  partes de aire y  $2/5$  de aceite para realizar su trabajo de conservación de energía, evitar golpes de ariete y compensador de fugas, éste

es muy tardado para reponer aire debido a fugas y en este proceso tiende a descompensar las partes de aire y aceite ya mencionadas, a causa de esto se realiza la compensación entre unidades, este procedimiento es observar que unidad de las 5 tiene el nivel de aceite en el acumulador de aire, éste notado en la columna de nivel y transferirlo del que tiene nivel de aceite bajo al que tienen nivel de aceite alto, el porqué de este procedimiento se realiza de esta manera es debido al que tiene nivel de aceite bajo mantiene un volumen más grande de aire, todo lo contrario con el que mantiene un nivel alto, al localizar estas unidades se deja pasar aire de una a otra y de esta manera compensarse entre ellas.

Debido a esta problemática se realizó el estudio de implementar acumuladores de vejiga, en el estudio se cuantificó los consumidores de aceite y a partir de eso se calculó la cantidad de acumuladores de vejiga por regulador, así como su sistema de filtración, dando las especificaciones de cada dispositivo que existen en el mercado y eligiendo la opción que llena los requisitos para el trabajo, en esta sección se hizo el estudio de precios de los distintos dispositivos dando el valor de cada uno en quetzales.

# OBJETIVOS

## Generales

Realizar un análisis y propuesta para la implementación de acumuladores hidráulicos de vejiga con gas nitrógeno.

## Específicos

1. Analizar cuidadosamente el funcionamiento del regulador hidráulico para poder implementar equipos con tecnología actual y de esta manera modernizar el equipo.
2. Alcanzar niveles más altos en el desempeño de los equipos, disminuyendo los gastos de energía innecesarios como también bajar el índice de falla en estos equipos.
3. Resguardar al personal con las medidas de protección de estos equipos.
4. Determinar los tipos de riesgo que se encuentran en ella.
5. Analizar la opción más adecuada para el funcionamiento del Regulador Hidráulico, dando las descripciones del equipo a implementar.
6. Realizar un estudio económico, determinando los costos del equipo, modificación del equipo y montaje del equipo.

7. Capacitar al personal encargado del funcionamiento de los acumuladores de vejiga y las modificaciones a realizar en el manual y darle el uso adecuado según especificaciones y procedimientos del mismo.

## INTRODUCCIÓN

En la Planta Hidroeléctrica Chixoy ubicada en San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz, se desarrolla la implementación de acumuladores de nitrógeno para el sistema de regulador hidráulico.

El presente trabajo consta de tres capítulos, en el primer capítulo se dan a conocer las generalidades de la planta como también la forma de generar energía eléctrica con base en recursos naturales, tomando en cuenta los conceptos básicos de mecánica de fluidos y la aplicación que la misma tiene en dicho proyecto.

En el segundo capítulo se incluye el análisis de riesgo del equipo, instalaciones y personal que ocupan la Planta Hidroeléctrica Chixoy y sus propuestas de mitigación, llegando a investigar a fondo los tipos de riesgo existentes para elaborar un plan de mitigación de los mismos.

En el tercer capítulo se analizará el estado actual de la planta trabajando con acumuladores de aire, que servirá para observar y analizar las ventajas y desventajas de utilizar acumuladores de vejiga con nitrógeno, proponiendo la opción más factible que beneficiará en el rendimiento de la planta y de la mano de la actualización de los manuales por implementación del nuevo equipo.

# **1. FASE DE INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Generalidades de la empresa**

### **1.1.1. Reseña histórica**

Considerando el crecimiento de la demanda de energía eléctrica que existe en Guatemala, el Gobierno Central encomendó al Instituto Nacional de Electrificación, INDE, la construcción del proyecto Hidroeléctrico Pueblo Viejo Quixal en el Río Chixoy, el cual redujo en gran porcentaje la dependencia de energéticos derivados del petróleo, al que el país ha estado sometido durante largos años, ya que con su puesta en operación. El consume de combustible se redujo en gran porcentaje.

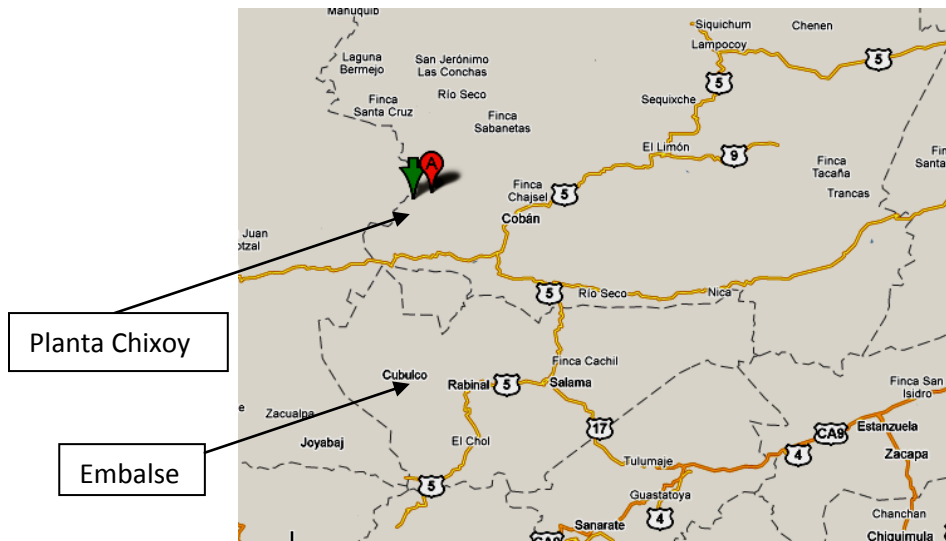
Este complejo está localizado en la zona nor-central de la república, entre los departamentos del Quiché, Baja Verapaz y Alta Verapaz. El núcleo central del proyecto es accesible por la ruta nacional CA-14, RN 5 y la carretera RN 7W que lo comunica con la ciudad capital y con los puertos principales del país. La distancia en línea recta de la ciudad de Guatemala es de 75 y 100 km a la presa y la Central Quixal respectivamente.

La ciudad de Cobán y el pueblo de San Cristóbal Verapaz son las poblaciones más cercanas a la zona del proyecto. Topográficamente el proyecto se asienta en una zona montañosa siendo sus variaciones sobre el nivel del mar de 300 a 2 000 m. El río Chixoy se encuentra entre las confluencias de los ríos Salamá, Carchelá y el río Quixal, formando una S



aproximadamente de 58 kilómetros, con desnivel de 400 m. Toda la obra está conectada por 70 km de carreteras debidamente balastadas.

Figura 1. **Ubicación geográfica Planta Chixoy**



Fuente: Google Maps, Derechos Reservados 2010.

El proyecto consiste en una presa de enrocado de 110 m de altura con un volumen de relleno de  $3,2 \times 10^6 \text{ m}^3$  (millones metros cúbicos) creando un embalse de regulación anual de  $460 \times 10^6 \text{ m}^3$ ; un vertedero sin compuertas para descargar la crecida de  $3880 \text{ m}^3/\text{s}$ ; dos túneles de desvío ubicados a 57,5 km aguas arriba de la confluencia del río Chixoy con el río Quixal; un túnel de aducción de 26 km de longitud con un diámetro de 4.93 m en el cual está integrado un puente tubería cruzando el río Chixoy en Agua Blanca; una casa de máquinas equipada con 5 turbinas Pelton con eje vertical de 60 MW cada una acopladas directamente a los generadores. La central y sus estructuras correspondientes están ubicadas en el río Quixal 500 m aguas arriba con la confluencia con el río Chixoy. Esta obra cuenta con una chimenea de equilibrio

al final del túnel de aducción, una tubería de presión de acero de aproximadamente 1 000 m de longitud con un diámetro de 3,65 m y una subestación tipo patio de maniobras de 13,8/230 kV.

#### **1.1.1.1. Inicio del proyecto**

En junio de 1977, se iniciaron los trabajos en el sitio de la presa, con la construcción de las bases de un puente temporal aguas arriba de la presa y los primeros accesos de obra. Durante 1978 se excavaron los canales de entrada y salida de los túneles de desvío y los túneles mismos, cuya longitud es casi 500 metros cada uno y 7,16 metros de diámetro los que permitirían construir la presa en el cauce del río.

Realizado el desvío del río Chixoy, a través de los túneles de desvío, el 28 de marzo de 1979, se iniciaron de inmediato los trabajos para construir una ataguía aguas arriba, que forma parte del cuerpo de la presa y que, con una altura de 40 metros, permitió controlar crecidas de hasta 1 700 m<sup>3</sup>/seg, a través de los túneles de desvío. El volumen de enrocado colocado en la ataguía, fue de 400 000 metros cúbicos, habiéndose concluido en agosto de 1979. De inmediato, se inició la excavación en el cauce, para cimentar el núcleo de la presa, terminando de bajar 20 metros desde éste hasta la roca, en noviembre de 1979.

En esta área, se excavó e inició la construcción de una galería perimetral, a lo largo del eje longitudinal, en los estribos derecho e izquierdo y debajo de la base de la presa, cuya utilidad fue para inyecciones y control.

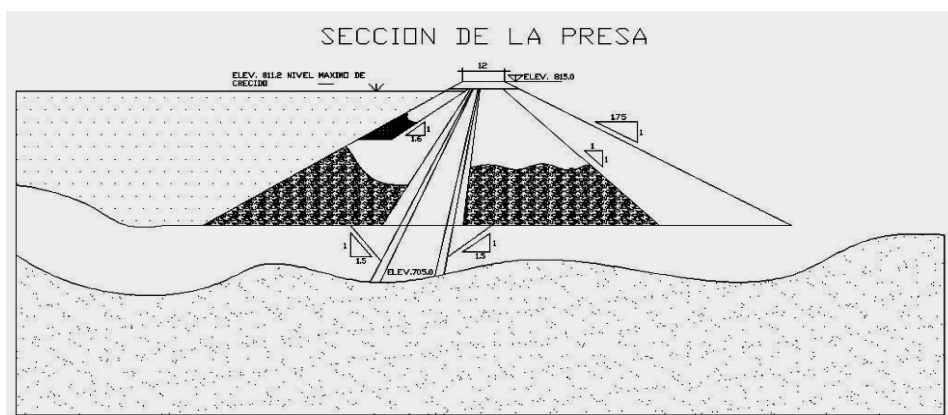
Como etapa siguiente, el 31 de mayo de 1980, se inició la colocación del núcleo de arcilla, cuya función es hacer impermeable la presa. Entre ésta y el

enrocado, se colocó filtro y dren clasificado. El volumen total de la presa es de 3 600 000 m<sup>3</sup>, incluyendo la ataguía aguas arriba, la cual se concluyó en junio de 1982.

El vertedero de borde libre, sin compuertas de regulación, se ubica en el estribo izquierdo de la presa, formado por un canal de descarga, revestido de hormigón, que llevará aguas abajo del pie de la presa.

Fue necesaria la colocación de 2 500 toneladas de acero y 56 000 metros cúbicos de hormigón, para la construcción del vertedero, diseñado para evacuar crecidas de hasta 3,850 metros cúbicos por segundo. El ancho del canal de descarga del vertedero, es de 17,5 metros con una longitud de desarrollo de 252,54 metros. La función del mismo se efectúa al llegar la crecida del embalse, a la cota máxima de llenado (800.00 MSNM) evacuando las aguas que vuelven al mismo cauce del río Chixoy. El embalse posee una longitud de 30 km con un ancho máximo de 1,4 km. Su capacidad es de 453 millones de metros cúbicos de agua; siendo el área de la cuenca de 5 460 km<sup>2</sup>.

Figura 2. **Presa en escollera con núcleo central de arcilla**



Fuente: Catálogo de Chixoy.

El túnel de aducción está formado por dos tramos: Pueblo Viejo – Agua Blanca de 7 767,35 metros de longitud y Agua Blanca – Quixal 18 200,04 metros respectivamente; haciendo un total de 25 967,39 metros. El diámetro de excavación es de 5,64 metros y el diámetro interno, ya revestido de concreto, de 4,94 metros, con un espesor de recubrimiento de 0,35 metros. La excavación y el revestimiento se ejecutaron desde cuatro frentes de trabajo (Pueblo Viejo, Agua Blanca Sur, Agua Blanca Norte y Quixal).

La Boca Toma consiste en un pozo de 55,60 metros de altura y 4,50 metros de diámetro interno, totalmente revestido de concreto, en el cual se desplaza una compuerta deslizante, por medio de la que se controlará el caudal del túnel; además, la obra de toma en sí, consta de rejas, guía limpiarrejas y ataguías.

Sobre el pozo se encuentra la Casa de Control que cuenta con oficinas, generador de emergencia, grúa servomotor para accionar la compuerta deslizante y las ataguías.

También se cuenta con descargador en lado de Agua Blanca Sur, para poder vaciar el túnel en el tramo que no es posible por gravedad, éste consiste en una válvula mariposa; 83,50 metros de tubería de acero de 1,30 metros de diámetro, una válvula cónica y un amortiguador. En el lugar denominado Agua Blanca, el río Chixoy intercepta el trazo del túnel y para poder cruzarlo, se construyó un puente de 130 metros de longitud, con una tubería de acero que descansa en 6 pilares de hormigón. Para ejecutar dichos pilares, fue necesario desviar el río en las épocas en que el caudal es mínimo. El diámetro de la tubería es de 4,35 metros, con espesores de 18, 20 y 22 mm. Se ejecutaron Galerías de Drenaje con el propósito de controlar las aguas de infiltración, durante la fase de excavación y revestimiento del tramo Quixal, dentro del túnel

se excavó una galería de 540 metros de longitud y 6 metros cuadrados, en el que intercepta el túnel en la estación 1,645 desde Quixal. La Chimenea de Equilibrio consta de una conexión inclinada con el túnel de 17,60 y 4,94 metros de diámetro; una cámara inferior de 11 metros de diámetros y 126 metros de longitud; un pozo vertical de 120 metros de altura y una cámara superior cilíndrica de 43 metros de diámetro y 17 metros de altura.

Los trabajos de la Central Quixal, se iniciaron con la construcción de un canal de desvió del río Quixal, con el objeto de dejar espacio libre en donde ubicar la subestación. La casa de máquinas se ubica al lado sur del río Quixal, el cual es afluente del río Chixoy. Todas las estructuras que la componen, cimentación, columnas, vigas muros y losas, son de hormigón armado. La casa de máquinas está por niveles que están señalizadas por medio del nivel sobre el mar y se encuentran de la siguiente manera:

- Nivel 288.50: el desfogue de las turbinas es mediante 10 salidas, dos para cada unidad. Estas salidas podrán cerrarse para el servicio de cada unidad cuando sea necesario, mediante dos compuertas accionadas por la grúa de pórtico del nivel 305.50. las estructuras que forman las salidas son de hormigón reforzado.
- Nivel 291.10 – 292.60: en este nivel están alojadas parte de las turbinas Pelton de eje vertical. El tubo en espiral para la alimentación del agua en las Turbinas, Rodete y demás elementos; Válvulas esféricas que controlan la entrada de agua en las turbinas. Tubería de distribución con derivación de cada unidad. Bombas y filtros rotativos. En este nivel entra a la casa de máquinas la tubería forzada, conectándose a la de distribución y la galería de drenaje.

- Nivel 296.50: se encuentran instaladas la parte final de las turbinas y los generadores; así mismo, los tableros y armarios de control de las turbinas y generadores; los ductos de barras conductoras hacia los transformadores; equipo de generación para el aire acondicionado; bombas para la elevación de aguas negras; fosa del transformador y horno para alivio de refuerzos; almacén y aparatos para compresor de aire.
- Nivel 301.00: en este nivel se encuentra el cuarto de bombas, filtro para purificación de agua y depósito para agua; oficinas, servicio de baño, cocineta y almacén, cuarto de baterías, cuarto para rectificador de tableros de control y relés; taller mecánico y eléctrico.
- Nivel 302.00: acceso a las fosas de los generadores y a la fosa del transformador, armarios y tableros de control de los generadores, barandales de hierro movibles.
- Nivel 303.30: vigas y relés por donde corren las grúas que se utilizaron en el montaje de las unidades; 2 grúas con capacidad cada una para 16 y 80 toneladas. En cada unidad hay una fosa con tapadera removible de hierro, hasta el nivel 292.10 para instalar las turbinas y para su remoción cuando éstas necesiten servicio.
- Nivel 305.50: en este nivel se encuentran los transformadores, 6 unidades y una de reserva; la grúa pórtico para el movimiento de las compuertas; casetones de concreto para equipos de aire acondicionado y la planta diesel de emergencia; fosa para el aceite usado de los transformadores, con bomba para su evacuación. las torres para la salida de las líneas de alto voltaje a la subestación.

- Sobre la fachada norte, se encuentran los balcones suspendidos, estructuras de acero con tratamiento de pintura especial para intemperie; aquí se encuentra instalado el sistema de aire a presión y una turbina auxiliar pequeña para el servicio de energía eléctrica de la casa de máquinas y áreas adyacentes; el sistema está instalado sobre pequeñas losas de concreto, con pasillos de parrillas metálicas y barandales de seguridad.
- Edificio Administrativo: el primer nivel es para el equipo de aire acondicionado del edificio, almacén y bodegas, así como el acceso a la galería para los cables que van de la casa de máquinas a la subestación.

#### **1.1.1.2. Consultor y Contratistas**

Consultor:

CONSORCIO LAMI, Guatemala.

Construido por:

LAHMEYER INTERNATIONAL GMBH, Alemania Federal

MOTOR COLUMBUS, S.A., Suiza

INTERNATIONAL ENGINEERING CO., Estados Unidos de América

Contratistas:

LOTE 1

Presa y estructuras auxiliares, COGEFAR, Construzioni SPA-Italia

LOTE 2

Túnel de aducción y estructuras auxiliares, HOCHTIEF AG-Alemania Federal

LOTE 3

Obras Civiles Central y Subestación Quixal, INGENIEROS CIVILES

ASOCIADOS, S.A., ICA-México.

LOTE 4

Equipo Mecánico de la casa de Máquinas, ESCHER WYSS AG-Suiza.

LOTE 5

Equipo Eléctrico, MITSUBISHI CORPORATION – Japón

LOTE 6

Equipo Hidromecánico y Estructuras de Acero, Sociedades Reunidas de Fabricoes Metálicas, SARL (SOREFAME) – Portugal.

LOTE 7<sup>a</sup>

Subestación Quixal – Equipo Electromecánico, SPRECHER + SCHUH-Suiza.

LOTE 7B

Línea de Transmisión Quixal-Guatemala Norte, FISCHBACH & MOORE, Texas – EE.UU.

Subestaciones Guatemala Norte y Las Verapaces ISOLUX, S.A. – España

Línea de transmisión Guatemala Norte a Guatemala Sur, ELEC NOR, S.A. – España.

Carreteras de acceso, NELLO TEER COMPANY – EE.UU.

### **1.1.2. Producción de energía**

La hidroeléctrica Chixoy cuenta con cinco turbinas Pelton de eje vertical con una potencia de instalada de 60 MW, como se indicó anteriormente, haciendo un total de 300MW de potencia en placa, pero la cantidad de potencia real que ocurre estando en línea con el sistema varía a 271,80 MW.

Según los datos tomados en el primer semestre 2010, Chixoy cuenta con una generación de 619,3 GWH. El primer semestre de cada año la hidroeléctrica genera una cantidad relativamente baja debido que en este tiempo se realiza el mantenimiento de las unidades. Otro factor importante es que en los primeros 6 meses de cada año se racionaliza el agua de la presa en Pueblo Viejo por motivos de precaución debido al clima tan variante que se dan



en estos días. A continuación se muestran las tablas de generación 2009 y lo que va del 2010.

**Tabla I. Generación 2009**

GENERACIÓN 2009												
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total Energía GWH
Energía GWH	Energía GWH	Energía GWH	Energía GWH	Energía GWH	Energía GWH	Energía GWH	Energía GWH	Energía GWH	Energía GWH	Energía GWH	Energía GWH	Energía GWH
121,57	112,25	136,52	119,60	144,36	171,66	187,78	149,89	101,79	60,59	48,94	62,94	1417,94

Fuente: AMM Guatemala.

**Tabla II. Generación 1er. semestre 2010**

1er. Semestre 2010						
ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	TOTAL
Energía GWH	Energía GWH	Energía GWH	Energía GWH	Energía GWH	Energía GWH	Energía GWH
71,222	72,076	77,825	78,923	131,393	187,895	619,3

Fuente: AMM Guatemala.

### **1.1.3. Visión y Misión**

#### **1.1.3.1. Visión**

Ser la empresa eléctrica nacional líder e impulsora del desarrollo del mercado eléctrico nacional y regional, cumpliendo con estándares de calidad

mundial, a través de la actualización tecnológica y excelencia de su recurso humano.

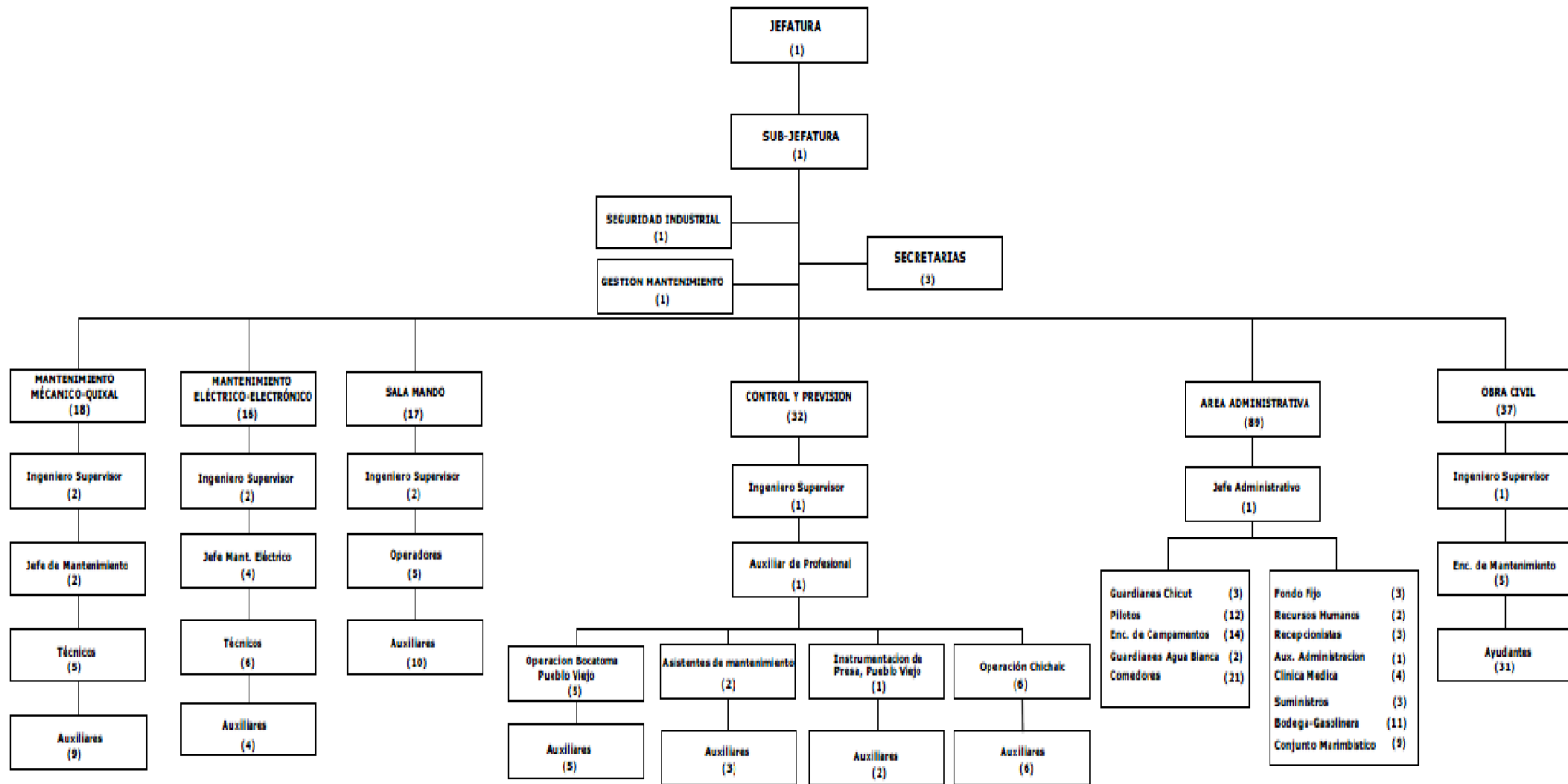
#### **1.1.3.2. Misión**

Contribuir al desarrollo del mercado eléctrico nacional y regional, a través de la producción, transporte y comercialización de electricidad, permitiendo como empresa nacional cumplir con su función social, incrementar la electrificación rural, suministrar un servicio eficiente y de calidad, desarrollar su recurso humano y procurar la disponibilidad de electricidad para el progreso de Guatemala

#### **1.1.4. Estructura organizacional**

La Planta Hidroeléctrica Chixoy cuenta con una jerarquía bien establecida ubicando a cada trabajador para que realice su función laboral que le es delegada, respetando las aéreas de trabajo, tanto en lo administrativo como en el área de generación.

Figura 3. Organigrama Planta Hidroeléctrica Chixoy



Fuente: Departamento Administrativo.

## **1.2. Conceptos Generales**

### **1.2.1. Propiedades de los fluidos y definiciones**

La mecánica de los fluidos es una de las ciencias que forman la base de toda técnica. Esta ciencia se ramifica en varias especialidades tales como aerodinámica, hidráulica, ingeniería naval, dinámica de gases procesos de flujo. Tiene relación con la estática, cinemática y dinámica de los fluidos, ya que el movimiento de un fluido se produce debido al desequilibrio de las fuerzas que actúan sobre él. Se van obteniendo los métodos útiles de análisis de la aplicación de los principios, conceptos y leyes siguientes: principio de Newton del movimiento, primer y segundo principio de la termodinámica, principio de conservación de la masa, ecuaciones de estado que relacionan las propiedades del fluido, ley de Newton de la viscosidad, conceptos de longitud mezcla y las condiciones motivadas por la presencia de los contornos.

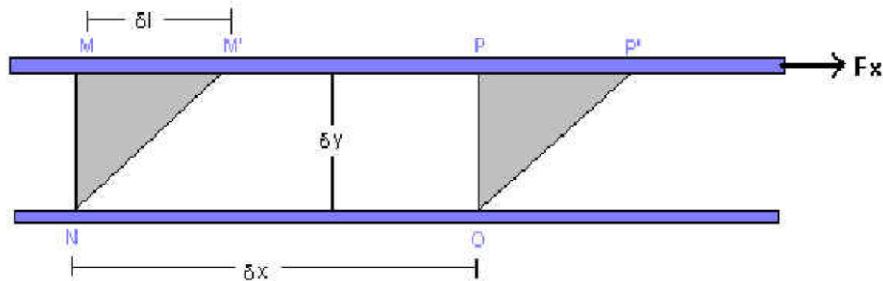
En los cálculos de movimiento de fluidos, la viscosidad y la densidad son las propiedades del fluido que con más generalidad se utilizan; desempeñan los papeles principales en el movimiento en canales abiertos y cerrados y en el movimiento alrededor de los cuerpos sumergidos. Los efectos de la tensión superficial tienen importancia en la formación de gotitas en el movimiento de chorros pequeños y en estado donde se presentan superficies de contacto líquido-gas-sólido o líquido-líquido-sólidos, tanto como en la formación de ondas capilares.

#### **1.2.1.1. Definición de un fluido**

Un fluido es una sustancia que se deforma continuamente cuando se somete a una tensión de cortadura, por muy pequeña que ésta sea. Una fuerza

cortante es la componente tangente a la superficie de la fuerza y esta fuerza, dividida por el área de la superficie, es la tensión de cortadura media sobre el área considerada. La tensión de cortadura en un punto es el límite del cociente de la fuerza cortante por el área cuando el área se reduce a cero en el punto.

Figura 4. **Deformación de un fluido**



Fuente: Streeter. Víctor L. Mecánica de fluidos, p. 15.

En la figura 4 se representa una sustancia que se ha colocado entre dos placas paralelas muy próximas lo suficientemente largas para que puedan despreciarse las condiciones en los bordes. La placa inferior está quieta y sobre la fuerza superior se aplica una fuerza  $f$ , que origina una tensión de cortadura  $f/a$  en la sustancia colocada entre las placas ( $a$  es el área de la placa superior). Cuando esta fuerza  $f$ , por muy pequeña que sea, hace mover a la lámina superior con una velocidad constante (no nula), se puede concluir que la sustancia situada entre las láminas es un fluido.

El fluido en inmediato contacto con la pared sólida tiene la misma velocidad que la pared, es decir, no hay ningún deslizamiento del fluido sobre la pared. Es un hecho experimental que se ha comprobado en innumerables ensayos con varios tipos de fluidos y materiales de la pared. El fluido del área  $abcd$  se mueve paralelamente a la lámina y la velocidad  $u$  varía uniformemente

desde cero en la placa en reposo hasta  $U$  en la lámina superior. La experiencia demuestra que si las otras magnitudes se mantienen constantes,  $F$  es directamente proporcional a  $A$  y a  $U$  e inversamente proporcional a  $t$ , de manera que

—

siendo  $\mu$  el factor de proporcionalidad que hace intervenir el efecto del fluido de que se trate. Como la tensión de cortadura es \_\_\_\_\_, resulta

—

la relación  $U/t$  es la velocidad angular de la línea  $ab$ , o la velocidad angular de deformación del fluido, es decir, la disminución del ángulo  $bad$  en la unidad de tiempo. La velocidad angular puede también escribirse \_\_\_\_\_ y ambas,  $U/t$  y \_\_\_\_\_, expresan la variación de velocidad dividida por la distancia en la que se produce dicha variación. Sin embargo, \_\_\_\_\_ es más general y sirve en todos los casos, aunque aquellos en que la velocidad angular y la tensión de cortadura varían. El gradiente de velocidad \_\_\_\_\_ puede también ser considerado como el cociente de la velocidad con que una capa del fluido se mueve en relación con la capa adyacente. En forma diferencial puede escribirse

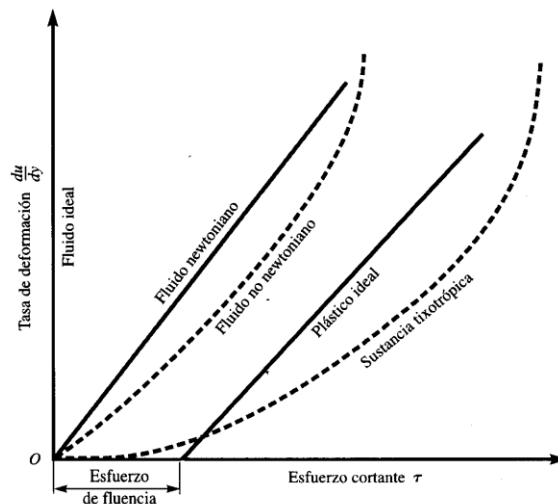
—

es decir, existe una proporcionalidad \_\_\_\_\_ entre la tensión de cortadura y la velocidad de deformación angular de un movimiento unidimensional de un

fluido. El factor de proporcionalidad se llama viscosidad del fluido, y la ecuación anteriormente mencionada es la ley de Newton de la viscosidad.

Los fluidos pueden clasificarse en newtonianos y no newtonianos. En los primeros existe una relación lineal entre la tensión de cortadura aplicada y la velocidad de deformación resultante ( $\mu$  constante en la ecuación mencionada anteriormente) como se observa en la figura 5. En los segundos no existe tal relación lineal. Un plástico ideal tienen una cierta tensión de cortadura inicial y por encima de ella existe una relación lineal constante entre  $\tau$  y  $\frac{du}{dy}$ . Una sustancia tixotrópica, tal como la tinta de imprenta, tiene una viscosidad que depende de la deformación angular inmediatamente anterior y tiende a un cierto valor cuando la sustancia está en reposo.

Figura 5. **Diagrama reológico**



Fuente: Streeter. Víctor L. Mecánica de Fluidos, p. 16.

Los gases y los líquidos ligeros se aproximan a los fluidos newtonianos, mientras que los líquidos pesados y los gases en las cercanías de sus puntos críticos son no newtonianos.

Para facilitar el estudio, frecuentemente se supone que el fluido no es viscoso. Con viscosidad nula la tensión de cortadura es también nula cualquiera que sea el movimiento del fluido. A un fluido de viscosidad nula e incomprensible, se le llama fluido ideal y vendrá representada por el eje de ordenadas de la figura 5.

### **1.2.1.2. Unidades de fuerza y masa**

La unidad de fuerza adoptada en la mayoría de los libros es el kilogramo fuerza (kilopondio) (kg). Como unidad de masa usaremos el kilogramo masa ( $kg_m$ ) y la unidad técnica de masa (UTM). Como las propiedades termodinámicas se expresan generalmente en la base del kilogramo masa, se representan de acuerdo con esta unidad.

El kilogramo fuerza se define como la atracción que ejerce la gravedad, en un lugar determinado (normal), sobre una masa dada de platino. Bajo la gravedad normal , el cuerpo que experimenta una atracción de un kilogramo fuerza tiene una masa de un kilogramo masa. Escribiendo el segundo principio de Newton del movimiento en la forma.

—

Y aplicándola a un cuerpo que cae libremente en el vacío en condiciones normales



---

---

Es evidente que

---

Siempre que utilicemos el kilogramo masa, le representaremos mediante  $\text{kg}_m$ . El kilogramo fuerza le representaremos mediante  $\text{kg}$ . El número  $g_0$  es una constante, es dependiente del lugar de aplicación del principio de Newton y dependiente solo de las unidades de kilogramo, kilogramo masa, metro y segundo. En cualquier otro lugar distinto del de gravedad normal, la masa de un cuerpo permanece constante, pero el peso (fuerza o atracción de la gravedad) varía.

---

La unidad técnica de masa es una unidad de masa derivada, definida como la cantidad de masa que se acelera un metro por segundo en cada segundo bajo la acción de una fuerza de un kilogramo. Con estas unidades la constante  $g_0$  es la unidad, es decir,  $1\text{UTM}\cdot\text{m}/\text{kg}\cdot\text{seg}^2$ . Como la mecánica de los fluidos está tan íntimamente ligada al segundo principio de Newton, la UTM se define como:

---

Se puede utilizar el sistema acorde de unidades UTM, kg, m seg. Sin constante dimensional  $g_0$ .

En este trabajo de graduación las máquinas dan su presión en distintos sistemas por lo que a continuación se dará sus equivalencias:

Tabla III. **Conversiones**

1 atm	14,696 lb <sub>f</sub> /pg <sup>2</sup>
1 atm	33,931 pies de agua a 15.6 °C
1 atm	760 mm de mercurio a 0°C
1 atm	1,033 kg/cm <sup>2</sup>
1 bar	14,2 PSI

Fuente: Apuntes curso de Mecánica de Fluidos. Escuela de Mecánica.

### 1.2.1.3. Viscosidad

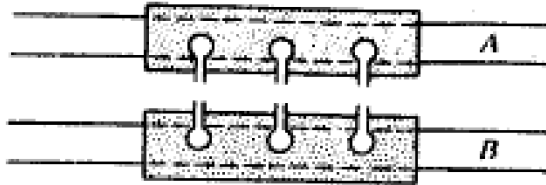
De todas las propiedades del fluido es ésta la que requiere mayor atención en el estudio del movimiento del fluido. La viscosidad es la propiedad del fluido en virtud de la cual este ofrece resistencia a las tensiones de cortadura. La ley de viscosidad de Newton establece que para una velocidad angular de deformación dada del fluido la tensión de cortadura es directamente proporcional a la viscosidad. Las melazas y el alquitrán son ejemplos de líquidos muy viscosos, el agua y el aire son fluidos poco viscosos.

La viscosidad de un gas aumenta con la temperatura, mientras que la viscosidad de un líquido disminuye con la temperatura. Este distinto comportamiento con las variaciones de temperatura puede explicarse

examinando las causas de la viscosidad. La resistencia de un fluido a la tensión de cortadura depende de su cohesión y del grado de transferencia de cantidades de movimiento de sus moléculas. Un líquido, con moléculas mucho más cercanas que un gas, tiene unas fuerzas de cohesión mayores que éste. La cohesión parece ser la causa predominante de la viscosidad de un líquido, y como la cohesión disminuye con la temperatura, a la viscosidad le sucederá lo mismo. Por otro lado, un gas tiene fuerzas cohesivas muy pequeñas. La mayor parte de su resistencia a la tensión de cortadura es el resultado de la transferencia de cantidades de movimientos moleculares.

Como un modelo grosero de la manera como la transferencia de cantidades de movimiento da lugar a un aumento de la tensión de cortadura aparente, consideremos dos vagonetas cargadas con esponjas en dos vías paralelas, como muestra la figura 6. Supongamos que cada vagoneta tiene un tanque de agua y una bomba que lanza chorros de agua por toberas situadas a ángulos rectos de las vías. Consideremos previamente A quieta y B moviéndose hacia la derecha con sus chorros de agua dirigida hacia A y absorbidas por las esponjas de A. La vagoneta A se pondrá en movimiento por las componentes de las cantidades de movimiento de los chorros paralelas a la vía, dando lugar a una aparente tensión de cordura entre A y B. Ahora, si A bombea agua hacia B en la misma cantidad, su acción tiende a parar a B y resulta igual y opuesta tensión de cordura aparente. Cuando A y B están ambas quietas o tienen las mismas velocidades, los chorros de agua de cada vagoneta no ejercen ninguna tensión de cordura aparente sobre la otra vagoneta.

Figura 6. **Modelo para ilustrar el intercambio de la cantidad de movimiento**



Fuente: Streeter. Víctor L. Mecánica de fluidos, p. 19.

En un fluido hay siempre una transferencia de moléculas a través de cualquier superficie ficticia que se trace en él. Cuando una capa se mueve en relación con otra adyacente, la transferencia de moléculas de una capa a otra da lugar a cambio de cantidades de movimiento de un lado al otro. De tal manera que surge una tensión de cortadura aparente que resiste al movimiento relativo y tiende a igualar las velocidades de las capas adyacentes de manera análoga a lo que sucede en la figura 6. La medida del movimiento de una capa en relación con otra adyacente es

Los movimientos moleculares en los gases dan lugar a una tensión de cortadura aparente que es más importante que las fuerzas cohesivas, y como los movimientos moleculares se incrementan con la temperatura, la viscosidad de un gas aumenta con la temperatura.

Para presiones ordinarias, la viscosidad es independiente de la presión y depende únicamente de la temperatura. Para grandes presiones, algunos aceites tienen variaciones erráticas de la viscosidad con la presión.

En un fluido en reposo, o con movimiento tal que no existe movimiento relativo de una capa con relación a su adyacente, no habrá tensiones de

cortadura aparentes y estará desprovisto de viscosidad porque es cero en todo fluido. De aquí que en el estudio de la estática de fluidos no hay que considerar fuerzas cortantes porque no existen en un fluido en reposo, y las únicas tensiones que quedan son las normales o presiones.

Las dimensiones de la viscosidad se determinan por la ley de Newton de la viscosidad, despejando la viscosidad  $\mu$ .

---

Poniendo las dimensiones F, L, T para fuerza, longitud y tiempo:

$\mu$  tiene las dimensiones si se ponen las dimensiones de la fuerza en términos de la masa usando el segundo principio de Newton del movimiento, las dimensiones de la viscosidad pueden expresarse como .

En el sistema técnico de unidades, la unidad de viscosidad (que no tiene nombre especial) es  $1 \text{ kg seg/m}^2$ . En el sistema CGS, la unidad de viscosidad se llama el poise y es  $1 \text{ dina seg/cm}^2$  o  $1 \text{ g/cm seg}$ . El centipoise es la centésima parte del poise.

#### **1.2.1.3.1. Viscosidad cinemática**

La viscosidad  $\mu$  suele llamarse viscosidad absoluta o dinámica para evitar confundirla con la viscosidad cinemática  $\nu$ , que es el cociente de la viscosidad por la densidad.

—

La viscosidad cinemática interviene en muchas aplicaciones, como, por ejemplo, en el número de Reynolds, que es — Las dimensiones de  $\nu$  son la unidad técnica,  $1 \text{ m}^2/\text{seg}$ , no tienen nombre especial; la unidad cegesimal se llama Stoke y es  $1 \text{ cm}^2/\text{seg}$ .

Para convertir en el sistema técnico la unidad de viscosidad cinemática en la unidad de viscosidad, hay que multiplicar por la densidad expresada en UTM por  $\text{m}^3$ . Para pasar del poise al Stoke hay que multiplicar por la densidad en  $\text{g}/\text{cm}^3$ , que es numéricamente igual al peso específico. La viscosidad es prácticamente independiente de la presión y depende únicamente de la temperatura. La viscosidad cinemática de líquidos y de gases a una presión dada es sustancialmente función de la temperatura.

#### **1.2.1.3.2. Densidad, volumen específico, peso específico, densidad relativa, presión**

La densidad  $\rho$  de un flujo se define como su masa por unidad de volumen, para definir la densidad en un punto se divide la masa  $m$  de fluido, en el volumen pequeño  $V$  que rodea a dicho punto, por  $V$  y se toma el límite

cuando  $\lambda$  tiende a  $\infty$ , donde  $\lambda$  es aún grande comparado con la distancia media entre moléculas,

—

Cuando la masa viene expresada en UTM,  $\rho$  viene en UTM/m<sup>3</sup>; si la masa se expresa en kilogramos masa,  $\rho$  viene en kilogramos masa por metro cúbico. Estas unidades están relacionadas por:

—

Para el agua en condiciones normales

—

El volumen específico  $v$  es el inverso de la densidad  $\rho$ ; es decir, es el volumen que ocupa la unidad de masa. Por consiguiente,

—

El peso específico  $\gamma$  de una sustancia es su peso por unidad de volumen. Cambia con la situación,

— —

Dependiendo de la gravedad. Es una propiedad conveniente cuando se trata con la estática del fluido o con líquidos con una superficie libre.

La densidad relativa  $S$  de una sustancia es la relación entre su peso y el peso de un volumen igual de agua en condiciones normales, También se puede expresar como la relación entre su densidad, o peso específico, y la del agua.

La fuerza normal que actúa sobre un área plana dividida por el área es la presión media. La presión en un punto es el límite del cociente de la fuerza normal por el área, cuando el área tiende a cero en el punto. Si un fluido ejerce una presión contra las paredes de un recipiente, entonces el recipiente ejercerá una reacción sobre el fluido que será de compresión. Los líquidos pueden soportar presiones de compresión muy elevadas, pero a menos que sean extremadamente puros, son muy débiles frente a la tracción. La presión tiene unidades de fuerza por unidad de área ( $\text{kg/cm}^2$  o  $\text{kg/m}^2$ ). También se puede expresar en función de una longitud equivalente de una columna de fluido.

#### **1.2.1.4. Gas perfecto**

En este trabajo de graduación se han limitado generalmente los casos de relaciones termodinámicas y de movimiento de fluidos compresibles a los gases perfectos. El gas perfecto se define en esta sección, y las diversas interrelaciones con los calores específicos.

El gas perfecto, se define como una sustancia que satisface la ley de los gases perfectos



Y que tiene calores específicos constantes. Es la presión absoluta, es el volumen específico,  $R$  la constante de los gases perfectos y  $T$  la temperatura absoluta. Se debe distinguir cuidadosamente el gas perfecto del flujo ideal. Un fluido ideal no tiene rozamiento y es incomprensible. El gas perfecto, en cambio, tiene viscosidad y, por lo tanto, puede desarrollar tensiones cortantes, la ecuación de estado de un gas perfecto. Se puede escribir

Las unidades de  $R$  se pueden determinar a partir de la ecuación cuando se conocen las otras unidades. Para  $\rho$  en  $\text{kg/m}^3$ ,  $p$  en  $\text{UTM/m}^2$  y  $T$  en  $(^\circ\text{C}+273,16)$  en grados kelvin ( $^\circ\text{K}$ ),

\_\_\_\_\_

Para  $\rho$  en  $\text{kg}_m/\text{m}^3$ ,

\_\_\_\_\_

El valor de  $R$  en unidades UTM es 9,81 veces mayor que en unidades kilogramo masa.

Los gases reales a bajas presiones tienden a seguir la ley de los gases perfectos. Cuando aumenta la presión, aumenta la discrepancia y se hace importante en las proximidades del punto crítico. La ley de los gases perfecto encierra a la ley de Charles y a la ley de Boyle. La ley de Charles establece que, a presión constante, el volumen de una masa dada de gas varía como su

temperatura absoluta. La ley de Boyle (ley isotérmica) establece que, a temperatura constante, la densidad varía directamente con la presión absoluta. El volumen de  $m$  unidades de masa del gas es ; por consiguiente,

Se obtienen algunas simplificaciones si se escribe la ley de los gases perfectos referida al número de moles. Se llama molécula-gramo (mol) de un gas al número de gramos masa del gas igual a su peso molecular; es decir, un mol de  $O_2$  es 32  $g_m$  siendo el volumen de mol, la ley de los gases perfectos se convierte en

si  $M$  es el peso molecular. En general, si  $n$  es el número de moles de gas que hay en el volumen

Ya que  $nM = m$  ahora, de la ley de Avogadro, volúmenes iguales de gases a las mismas presión y temperatura absolutas tienen el mismo número de moléculas, por consiguiente, sus masas son proporcionales a los pesos moleculares. De la ecuación anterior se ve que  $MR$  debe ser constante, ya que es igual para cualquier gas perfecto. El producto  $MR$  se llama constante universal de los gases. El producto  $MR$  se llama constante universal de los gases y tiene un valor que solo depende de las unidades empleadas. Es

la constante R de los gases se puede determinar de

\_\_\_\_\_

o en unidades técnicas,

\_\_\_\_\_

de modo que el conocimiento del peso molecular conduce al valor de R.

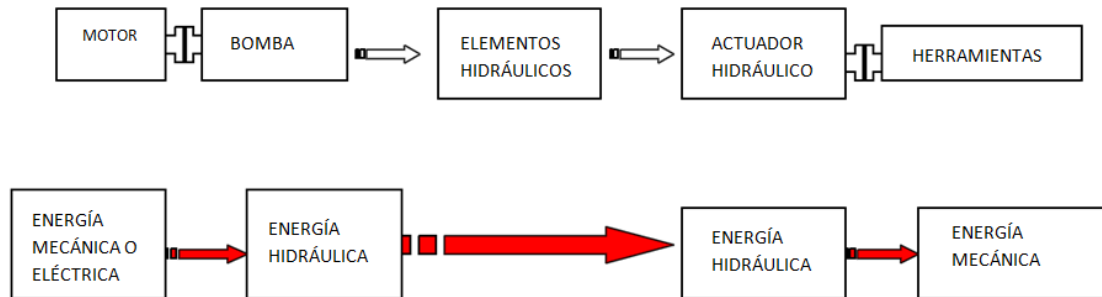
### **1.2.2. Introducción a la hidráulica**

El estudio de la hidráulica con lleva el conocimientos de las característica de los fluidos, la medición de estas, y el uso que se les puede dar a estos fluidos.

La hidráulica es una ciencia que forma parte de la física y comprende la transmisión y regulación de fuerzas y movimientos por medio de los líquidos.

Actualmente cuando se refiere a la palabra “hidráulica” en presencia de los que se inician en el conocimiento de esta hermosa ciencia, es preciso remarcar que el concepto que debe de prevalecer es el de transformación de la energía, ya sea de mecánica o eléctrica en hidráulica para obtener un beneficio en términos de energía mecánica al finalizar el proceso.

Figura 7. Transformación de la energía



Fuente: Apuntes Curso de Maquinas Hidráulicas, Escuela de Mecánica.

La ventaja que implica la utilización de la hidráulica es la posibilidad de transmitir grandes fuerzas, empleando para ello pequeños elementos y la facilidad de poder realizar maniobras de mandos y reglaje. Actuadores hidráulicos son capaces de emplearse con carga desde el reposo. Equipados apropiadamente permiten desarrollar cambios de dirección rápidamente.

A pesar de estas ventajas hay también ciertos inconvenientes debido al fluido empleado como medio para la transmisión. Esto debido a las grandes presiones que se manejan en el sistema posibilita el peligro de accidentes, por esto es preciso cuidar que los empalmes se encuentren perfectamente apretados y estancos.

### 1.2.2.1. Definición y Conceptos Generales

#### 1.2.2.1.1. Definición de presión

La presión puede definirse como una fuerza por unidad de área o superficie, en donde para la mayoría de los casos se mide directamente por su equilibrio directamente con otra fuerza, conocidas que puede ser la de una

columna líquida un resorte, un émbolo cargado con un peso o un diafragma cargado con un resorte o cualquier otro elemento que puede sufrir una deformación cualitativa cuando se le aplica la presión.

#### **1.2.2.1.1.1. Presión absoluta**

Es la presión de un fluido medido con referencia al vacío perfecto o cero absolutos. La presión absoluta es cero únicamente cuando no existe choque entre las moléculas lo que indica que la proporción de moléculas en estado gaseoso o la velocidad molecular es muy pequeña. Este término se creó debido a que la presión atmosférica varía con la altitud y muchas veces los diseños se hacen en otros países a diferentes altitudes sobre el nivel del mar por lo que un término absoluto unifica criterios.

#### **1.2.2.1.1.2. Presión atmosférica**

El hecho de estar rodeados por una masa gaseosa (aire), y al tener este aire un peso actuando sobre la tierra, quiere decir que estamos sometidos a una presión (atmosférica), la presión ejercida por la atmósfera de la tierra, tal como se mide normalmente por medio del barómetro (presión barométrica). Al nivel del mar o a las alturas próximas a este, el valor de la presión es cercano a  $14,7 \text{ lb/plg}^2$  ( $101,35 \text{ Kpa}$ ), disminuyendo estos valores con la altitud.

#### **1.2.2.1.1.3. Presión manométrica**

Son normalmente las presiones superiores a la atmosférica, que se mide por medio de un elemento que define la diferencia entre la presión que es desconocida y la presión atmosférica que existe. Si el valor absoluto de la presión es constante y la presión atmosférica aumenta, la presión manométrica

disminuye; esta diferencia generalmente es pequeña mientras que en las mediciones de presiones superiores, dicha diferencia es insignificante, es evidente que el valor absoluto de la presión puede obtenerse adicionando el valor real de la presión atmosférica a la lectura del manómetro.

La presión puede obtenerse adicionando el valor real de la presión atmosférica a la lectura del manómetro.

Presión Absoluta = Presión manométrica + Presión atmosférica.

#### **1.2.2.1.1.4. Vacío**

Se refiere a presiones manométricas menores que la atmosférica, que normalmente se miden, mediante los mismos tipos de elementos con que se miden las presiones superiores a la atmosférica, es decir, por diferencia entre el valor desconocido y la presión atmosférica existente. Los valores que corresponden al vacío aumentan al acercarse al cero absoluto y por lo general se expresa a modo de centímetros de mercurio, metros de agua, etc.

#### **1.2.2.1.1.5. Unidades de presión**

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmosferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada). En el Sistema Internacional (S.I.) está normalizada en pascal de acuerdo con las Conferencias Generales de Pesas y Medidas que tuvieron lugar en Paris en octubre de 1967 y 1971, y según la recomendación Internacional número 17, ratificada en la III Conferencia General de la Organización Internacional de Metrología Legal. El pascal es 1 newton por metro cuadrado (1 N/m<sup>2</sup>), siendo el newton la fuerza que

aplicada a un cuerpo de masa 1kg, le comunica una aceleración de 1 m/s<sup>2</sup> . Como el pascal es una unidad muy pequeña, se emplean también el kilo pascal (1 kPa = 10<sup>3</sup> Pa), el mega pascal (1 MPa = 10<sup>6</sup> Pa) y el giga pascal (1 GPa = 10<sup>9</sup> Pa). En la industria se utiliza también el bar (1 bar = 10<sup>5</sup> Pa = 1,02 kg/cm. cuadrado) y el kg/cm<sup>2</sup>, Si bien esta última unidad, a pesar de su uso todavía muy extendido, se emplea cada vez con menos frecuencia.

Tabla IV. **Unidades de presión**

	psi	Pulgada C. de agua	Pulgada c. de agua	Atmosfera	Kg/cm <sup>2</sup>	Cm c. de a.	mm c. de Hg	Bar	Pa
<b>Psi</b>	1	27,68	2,036	0,0680	0,0703	70,31	51,72	0,0689	7 142
<b>Pulgada c. de a.</b>	0,0361	1	0,0735	0,0024	0,0025	2,540	1,868	0,0024	256,4
<b>Pulgada c. de Hg</b>	0,4912	13,6	1	0,0334	0,0345	34,53	25,4	0,0333	3 448
<b>Atmósfera</b>	14,7	406,79	29,92	1	1,033	1 033	760	1,0131	1,01x10 <sup>4</sup>
<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>	14,22	393,7	28,96	0,9678	1	1 000	735,6	0,98	98 100
<b>Cm c. de a.</b>	0,0142	0,3937	0,0289	0,00096	0,0010	1	0,7355	0,0009	100
<b>mm c. de Hg</b>	0,0193	0,5353	0,0393	0,0013	0,0013	0,0013	1	0,00133	133
<b>Bar</b>	14,5	408	29,99	0,987	1,02	1 024	750	1	10 <sup>3</sup>
<b>Pa</b>	0,00014	0,0039	0,00029	0,987x10 <sup>-5</sup>	0,102x10 <sup>-4</sup>	0.01	0,0075	10 <sup>-3</sup>	1

Fuente: Antonio Creus Sole, Instrumentación Industrial, p. 63.

### 1.2.2.1.2. Conservación de la energía

La ley de la conservación de la energía constituye el primer principio de la termodinámica y afirma que la cantidad total de energía en cualquier sistema

aislado (sin interacción con ningún otro sistema) permanece invariable con el tiempo, aunque dicha energía puede transformarse en otra forma de energía. La ley de la conservación de la energía afirma que la energía no puede crearse ni destruirse, sólo se puede cambiar de una forma a otra.

La energía mecánica total de un sistema es constante cuando actúan dentro del sistema sólo fuerzas conservativas. Así mismo, se puede asociar una función de la energía potencial con cada fuerza conservativa. Por otra parte, la energía mecánica se pierde cuando esta presenta fuerzas no conservativas, como la fricción.

En el estudio de la termodinámica se encontrará que la energía puede transformarse en energía interna del sistema. Por ejemplo, cuando un bloque desliza sobre una superficie rugosa, la energía mecánica perdida se transforma en energía interna almacenada temporalmente en el bloque y en la superficie, lo que se evidencia por un incremento mensurable en la temperatura del bloque. Se verá que en una escala submicroscópica esta energía interna está asociada a la vibración de los átomos en torno a sus posiciones de equilibrio. Tal movimiento atómico interno tiene energía cinética y potencial. Por tanto, si a este incremento en la energía interna del sistema se incluye en esta expresión de la energía, la energía total se conserva.

Este es sólo un ejemplo de cómo se puede analizar un sistema aislado y encontrar siempre que su energía total no cambia, siempre que se tomen en cuenta todas las formas de energía. Esto significa que, la energía nunca puede crearse ni destruirse. La energía puede transformarse de una forma en otra, pero la energía total de un sistema aislado siempre es constante. Desde un punto de vista universal, se puede decir que la energía total del universo es constante. Si una parte del universo gana energía en alguna forma, otra parte



debe perder una cantidad igual de energía. No se ha encontrado ninguna violación a este principio.

Un objeto que se mantiene a cierta altura  $h$  sobre el suelo no tiene energía cinética, pero, hay una energía potencial gravitacional asociada igual a  $mgh$  relativa al suelo si el campo gravitacional está incluido como parte del sistema. Si el objeto se suelta, cae hacia el piso, y conforme cae su velocidad y en consecuencia su energía cinética aumenta, en tanto que la energía potencial disminuye. Si se ignoran los factores como la resistencia del aire, toda la energía potencial que el objeto pierde cuando cae aparece como energía cinética. En otras palabras, la suma de las energías cinéticas y potencial, conocida como energía mecánica  $E$ , permanece constante en el tiempo. Este es un ejemplo de la conservación de la energía. En el caso de un objeto en caída libre, este principio dice que cualquier aumento (o disminución) en la energía potencial se acompaña por una disminución (o aumento) igual en la energía cinética.

Puesto que la energía mecánica total  $E$  se define como la suma de las energías cinética y potencial, se puede escribir:

Por consiguiente, es posible aplicar la conservación de la energía en la forma:

NOTA: La conservación de la energía requiere que la energía mecánica total de un sistema permanezca constante en cualquier sistema aislado de objetos que interactúan sólo a través de fuerzas conservativas.

#### **1.2.2.1.2.1. Energía potencial**

Un objeto con energía cinética puede realizar trabajo sobre otro objeto, como lo ilustra el movimiento de un martillo que clava un clavo en la pared. Se verá ahora que un objeto también puede realizar trabajo por efecto de la energía que produce su posición en el espacio. Cuando un objeto cae en un campo gravitacional, el campo ejerce una fuerza sobre él en la dirección de su movimiento, efectuando trabajo sobre él, con lo cual incrementa su energía cinética. Considerando un ladrillo que se dejó caer desde el reposo directamente sobre el clavo de una tabla que está horizontal sobre el suelo. Cuando es soltado el ladrillo cae hacia la tierra ganando velocidad y, en consecuencia, ganando energía cinética. Gracias a su posición en el espacio, el ladrillo tiene energía potencial (tiene el potencial para hacer trabajo), la cual se convierte en energía conforme cae. En el momento en que el ladrillo llega al suelo, efectúa trabajo sobre el clavo encajándolo en la tabla. La energía que un objeto tiene debido a su posición en el espacio recibe el nombre de energía potencial gravitacional. Es la energía mantenida por un campo gravitacional y transferido al objeto conforme este cae.

Las unidades de la energía potencial gravitacional son las mismas que las del trabajo. Esto significa que la energía potencial puede expresarse en joule, erg o pie/libra. La energía potencial, como el trabajo y la energía cinética, es una cantidad escalar.

Se advierte que la energía potencial gravitacional asociada a un objeto sólo depende de la altura vertical de este sobre la superficie de la tierra. De acuerdo con esto, se observa que el trabajo hecho por la fuerza de la gravedad sobre un objeto conforme este cae verticalmente hacia la tierra es el mismo que si empezara en el mismo punto y se deslizara por una pendiente sin fricción hacia la tierra.

#### **1.2.2.1.2.2. Sistemas conservativos**

##### **A. Fuerzas conservativas**

Son las fuerzas que se encuentran en la naturaleza pueden dividirse en dos categorías: conservativas y no conservativas.

NOTA: una fuerza es conservativa si el trabajo que hace sobre una partícula que se mueve entre dos puntos cualesquiera es independiente de la trayectoria seguida por la partícula. Además, el trabajo hecho por una fuerza conservativa ejercida sobre una partícula que se mueve por una trayectoria cerrada es cero.

La fuerza de la gravedad es conservativa. El trabajo realizado por la fuerza gravitacional sobre un objeto que se mueve entre dos puntos cualesquiera cerca de la superficie de la tierra es:

A partir de esto se ve que  $W_G$  sólo depende de las coordenadas inicial y final del objeto y, en consecuencia es independiente de la trayectoria. Además,  $W_G$  es cero cuando el objeto se mueve por cualquier trayectoria cerrada (donde  $y_i = y_f$ ).

Se puede asociar una función de energía potencial con cualquier fuerza conservativa:

La energía potencial gravitacional es la energía almacenada en el campo gravitacional cuando el objeto se levanta contra el campo.

Las funciones de energía potencial son definidas sólo para fuerzas conservativas. En general, el trabajo  $W$  hecho sobre un objeto por una fuerza conservativa es igual al valor inicial de la energía potencial asociada al objeto menos el valor final:

## B. Fuerza no conservativas

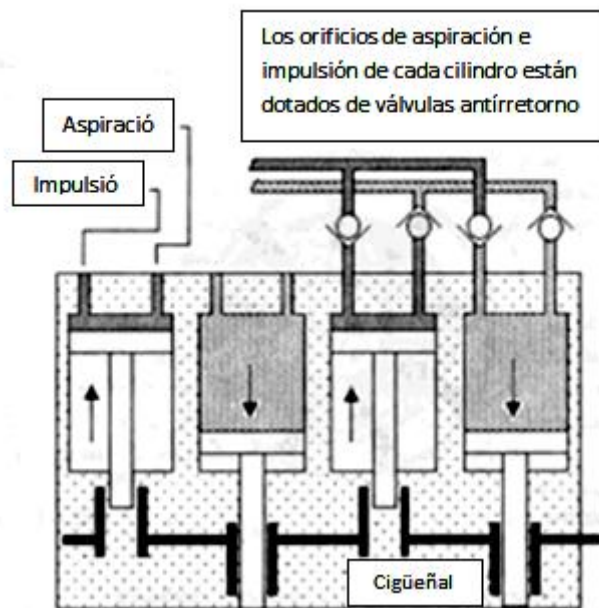
Una fuerza es no conservativa si produce un cambio en la energía mecánica. Por ejemplo, si alguien mueve un objeto sobre una superficie horizontal y lo regresa a la misma posición y al mismo estado de movimiento, pero encuentra que fue necesario realizar una cantidad de trabajo neta sobre el objeto, entonces algo debe haber disipado esa energía transferida al objeto. Esa fuerza disipada se conoce como fricción entre la superficie y el objeto. La fricción es una fuerza disipada o “no conservativa”. Por contraste, si el objeto se levanta, se requiere trabajo, pero la energía se recupera cuando el objeto desciende. La fuerza gravitacional es una fuerza no disipada o “conservativa”.

### 1.2.2.1.3. Transmisión de la potencia

La hidráulica se puede definir como un medio de transmitir potencia al empujar sobre un líquido confinado. El componente de empuje de entrada del sistema se llama una bomba y el empuje de salida es un actuador.

Para simplificar las cosas hemos mostrado un pequeño pistón sencillo, la mayoría de las bombas de potencia dirigida necesitarán muchos pistones, paletas o engranes según los elementos de bombeo. Los actuadores son lineales, como el cilindro mostrado, o rotatorio como los motores hidráulicos.

Figura 8. Transmisión de potencia



Fuente: Robert L. Norton, Diseño de Maquinaria. p. 652.

El sistema hidráulico no es una fuente de energía. La fuente de energía es un primer impulsor tal como un motor eléctrico que impulse la bomba.

#### **1.2.2.1.4. Las ventajas de la hidráulica**

- Velocidad variable
- Reversible
- Protección a Sobrecarga
- Pueden ser parados
- Aceite hidráulico
- Presión en un columna de fluido
- La presión atmosférica carga la bomba
- El desplazamiento positivo de la bomba crea flujo

##### **1.2.2.1.4.1. Velocidad variable**

La mayoría de los motores eléctricos trabajan a una velocidad constante. También es deseable operar una máquina a una velocidad constante. Sin embargo, el actuador (lineal o rotatorio) de un sistema hidráulico puede ser dirigido a infinidad de velocidades variables al variar el abastecimiento de la bomba o usando una válvula de control de flujo.

##### **1.2.2.1.4.2. Reversible**

Algunos de los primeros impulsadores son reversibles. Y esos que son reversibles normalmente se le baja la velocidad hasta un paro total antes de invertirlos. Un actuador hidráulico puede ser invertido en plena operación sin que se dañe. Una válvula direccional de 4 pasos, o una bomba reversible pueden dar el control de inversión, mientras que una válvula de alivio de presión protege los componentes del sistema de presión excesiva.

#### **1.2.2.1.4.3. Protección de sobrecarga**

La válvula de alivio de presión de un sistema hidráulico lo protege del daño que causa la sobrecarga. Cuando la carga excede el ajuste de la válvula.

#### **1.2.2.1.4.4. Pueden ser parados**

Parar un motor eléctrico causaría daños o fundiría un fusible. Igualmente las máquinas no se pueden parar, sin la necesidad de volverlas a prender. Sin embargo, un actuador hidráulico puede ser parado sin causar daños cuando esté sobrecargado y arrancará inmediatamente cuando le reduzcan la carga. Mientras esté parado, la válvula de alivio simplemente desviará el abastecimiento de la bomba al tanque. La única pérdida causada será el desperdicio de caballos de fuerza.

#### **1.2.2.1.4.5. Aceite hidráulico**

Cualquier líquido es esencialmente incompresible y por eso transmite la fuerza instantáneamente en un sistema hidráulico. La primera prensa hidráulica Bramah y algunas de las prensas en servicio hoy, usan agua como medio de transmisión.

Sin embargo, el líquido más comúnmente usado en los sistemas hidráulicos es el aceite de petróleo. El aceite transmite la potencia fácilmente porque es muy poco compresible. Este se comprimirá, un medio del uno por ciento en una presión de 1000 psi, mínima cantidad en la mayoría de los sistemas. La propiedad más deseada del aceite es su habilidad de lubricación. El líquido hidráulico debe lubricar la mayoría de las partes móviles de los dos componentes.

#### **1.2.2.1.4.6. Presión en una columna de fluido**

El peso de un volumen de aceite varía de grado, como su viscosidad (espesor). Sin embargo, la mayoría del aceite hidráulico pesa de 55 a 58 libras por pie cúbico en porcentajes de operación normales.

Una consideración importante del peso del aceite es el efecto de éste en la entrada de la bomba. El peso del aceite causará una presión de 0,4 psi, más o menos, al fondo de una columna de aceite de un pie. Por cada pie adicional de peso, éste será 0.4 psi más. Así que, para estimar la presión de cualquier columna de aceite, simplemente multiplique lo alto por 0,4 p

Para aplicar este principio, considere en donde está el depósito de aceite arriba o debajo de la entrada del abastecimiento de la bomba. Cuando el nivel del depósito de aceite está más arriba de la entrada de la bomba, se tiene una presión positiva para forzar el aceite dentro de la bomba. Sin embargo, si la bomba está localizada arriba del nivel de aceite, un vacío equivalente a 0,4 psi por pie se necesita, para levantar el aceite a la entrada de la bomba. Realmente el aceite no es levantado por el vacío, ya que es forzado por la presión atmosférica dentro del vacío creado a la entrada de la bomba, cuando la bomba está funcionando. El agua y varios fluidos hidráulicos resistentes al fuego son más pesados que el aceite y por eso requieren más vacío para levantarlos.

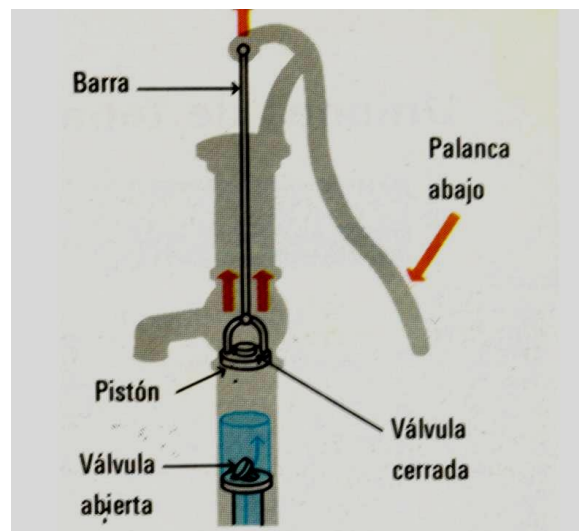
#### **1.2.2.1.4.7. La presión atmosférica carga la bomba**

Normalmente la entrada de la bomba se carga con aceite por medio de la diferencia de presión entre el depósito y la entrada de la bomba. Usualmente la



presión en el depósito, es presión atmosférica, que es de 14.7 psi en un medidor absoluto. Entonces es necesario tener un vacío parcial o reducir la presión a la entrada de la bomba para crear flujo.

Figura 9. **Bomba de Palanca**



Fuente: [www.haleco.es/wpc/img\\_120pix/PAC\\_ACP102\\_3.jpg](http://www.haleco.es/wpc/img_120pix/PAC_ACP102_3.jpg).

La figura muestra una situación típica para una bomba hidráulica de palanca, la cual es simplemente un pistón recíproco. En el golpe de entrada, el pistón crea un vacío parcial en la cámara bombeadora. La presión atmosférica en el depósito empuja el aceite dentro de la cámara, para llenar el hueco. (En una bomba rotativa el bombeo sucesivo de las cámaras aumenta en tamaño cada vez que pasan por la entrada, creando efectivamente una condición idéntica en el hueco).

Si fuese posible "jalar" un completo vacío a la entrada de la bomba, ahí habría disponibles 14,7 psi para empujar el aceite hacia dentro, sin embargo, prácticamente la diferencia de presión disponible debería ser mucho menor. Por

una cosa, los líquidos se vaporizan en un vacío. Esto pone burbujas de gas en el aceite. Las burbujas pasan a través de la bomba, estallando con fuerza considerable, cuando se encuentran con una carga de presión en la salida y causan daño y desajustan el funcionamiento de la bomba y reducen su duración.

Aun teniendo el aceite buenas características de presión evaporada (como son casi todos los aceites hidráulicos) una línea de entrada de presión muy baja (alto vacío) permite que el aire se disuelva en el aceite que va de salida. Esta mezcla del aceite también choca cuando es expuesto a cargas de presión y causa el mismo daño de la cavitación. Impulsando la bomba a una muy alta velocidad aumenta la velocidad en la línea de la entrada y consecuentemente aumenta la condición de baja presión, más adelante aumentando la posibilidad de cavitación.

Si los ajustes de la línea de entrada no están bien apretados, el aire puede ser forzado dentro del área de más baja presión de la línea por la presión atmosférica y ser arrastrado dentro de la bomba. Esta mezcla de aire y aceite puede causar problemas y ruido también, pero es diferente a la cavitación. Cuando se expone a presión en la salida de la bomba, este aire adicional es comprimido a que forme el efecto de un cojín, y no explote con violencia. Este no es disuelto en el aceite pero pasa a través del sistema en forma de burbujas comprimibles lo que causa que el funcionamiento de la válvula y el actuador sean erróneos.

La mayoría de los fabricantes de bombas recomiendan un vacío no mayor de 5 pulgadas de mercurio (pulg. hg.) el equivalente de más o menos 12,2 psi absoluto en la entrada de la bomba. Con la presión atmosférica de 14,7 psi en el depósito, esto deja solamente 2 ½ psi de diferencia de presión para

empujar el aceite dentro de la bomba. Un levantamiento excesivo debe ser evitado y las líneas de entrada de la bomba debieran permitir que el aceite fluya con la menor resistencia.

#### **1.2.2.1.4.8. El desplazamiento positivo de la bomba crea flujo**

La mayoría de las bombas usadas en los sistemas hidráulicos están clasificadas como de desplazamiento. Esto quiere decir que, excepto para los cambios en eficiencia, el rendimiento de la bomba es constante sin importar la presión. La salida está positivamente sellada desde la entrada, para que así lo que entre sea forzado hacia fuera por el orificio de salida.

El único propósito de la bomba es el de crear flujo; la presión es causada por la resistencia del flujo.

Aunque la tendencia común es culpar a la bomba de pérdida de presión, con pocas excepciones la presión se puede perder solamente cuando hay un paso de fuga que desviará todo el flujo de la bomba.

Para ilustrarlo, supongamos que una bomba de 10 galones por minuto (gpm) se usa para empujar el aceite bajo un pistón de 10 pulgadas cuadradas y levantar 8 000 libras de carga. Cuando se está levantando la carga o soportándola por el aceite hidráulico, la presión debe de ser de 800 psi.

Aunque un agujero en el pistón permitiera una fuga de 9 ½ gpm a 800 psi, la presión se mantendrá. Con solo ½ gpm disponibles para mover la carga, ésta, naturalmente, se elevará muy lentamente. Pero la presión necesaria para hacerlo se mantendrá igual.

Ahora imagínense que una fuga de 9 ½ gpm está en la bomba y no en el cilindro. Aún habría 1/2 gpm moviendo la carga y también aún habría presión. Así que una bomba puede ser mal usada, perder casi toda su eficiencia y la presión se puede seguir manteniendo. El mantener La presión solamente no es un indicador de la condición de la bomba. Es necesario medir el flujo a una presión dada, para determinar si la bomba está en buenas o malas condiciones.

### **1.2.2.2. Principio de la potencia hidráulica**

#### **1.2.2.2.1. Principios de la presión**

En el estudio de los fluidos hay varias leyes que rigen su estado y movimiento, entre ellos están:

- Ley de Pascal
- Principio de Arquímedes
- Tensión Superficial
- Ecuación de Bernoulli
- Ecuación de Torricelli

#### **1.2.2.2.2. Principios de flujo**

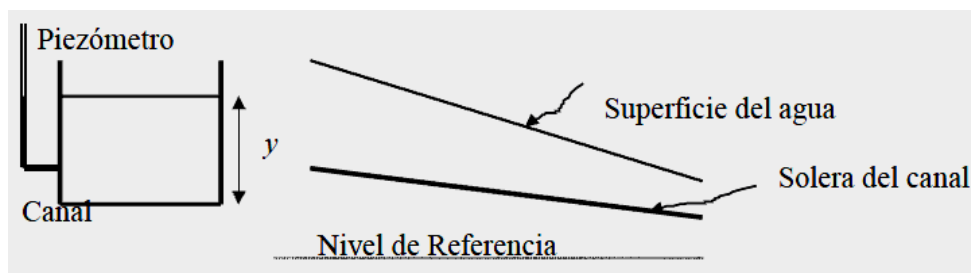
El flujo es el movimiento de un fluido y se puede clasificar según varios criterios:

### 1.2.2.2.1. Según el tipo de movimiento

#### A. Flujo libre

El movimiento del fluido se realiza por conductos abiertos o cerrados parcialmente llenos, de forma que existe una superficie libre que está en contacto con la atmósfera. El movimiento se realiza gracias a la fuerza de la gravedad.

Figura 10. **Flujo libre**



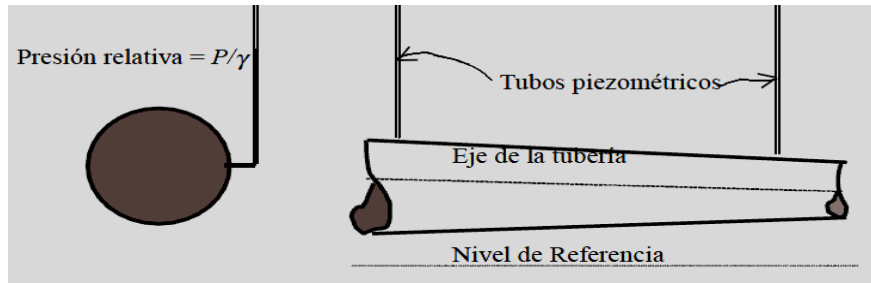
Fuente: M. E. Guevara, Introducción a la Hidráulica, p. 4.

El flujo libre tiene lugar en la naturaleza en ríos y arroyos y en forma artificial en canales de conducción de fluidos, acueductos, alcantarillados, drenajes, etc.

#### B. Flujo a presión

El movimiento del agua se realiza por conductos cerrados sobre los que el fluido ejerce una presión distinta a la atmosférica. El movimiento se debe principalmente a la acción de la presión hidráulica. Un ejemplo son los sistemas de distribución de agua potable.

Figura 11. **Flujo a presión**



Fuente: M. E. Guevara, Introducción a la Hidráulica, p. 4.

#### 1.2.2.2.2. Según el espacio

##### A. Flujo uniforme

Los parámetros hidráulicos del flujo (velocidad, profundidad del agua) permanecen constantes a lo largo del conducto.

— — —

Se considera uniforme el flujo de líquidos en tuberías o canales de sección constante y gran longitud.

##### B. Flujo variado

Los parámetros hidráulicos del flujo varían a lo largo del conducto.

— —

Por ejemplo, controles en los canales como compuertas, presas, cambios de pendiente, hacen que el flujo sea variado. En conductos a presión, el flujo es variado cuando hay cambios de sección transversal y presencia de controles como válvulas.

### 1.2.2.2.3. Según el tiempo

#### A. Flujo permanente

Los parámetros hidráulicos del flujo permanecen constantes en el tiempo o sea que la velocidad de las partículas que ocupan un punto dado es la misma para cada instante.

— — —

La mayoría de los problemas prácticos implican condiciones permanentes del flujo, como por ejemplo, el transporte de líquidos bajo condiciones constantes de altura de carga.

#### B. Flujo no permanente o inestable

Los parámetros hidráulicos del flujo varían en el tiempo.

— —

Ejemplos son la salida de agua por el orificio de un depósito bajo carga variable y la creciente en un río.

#### **1.2.2.2.4. Según el régimen del flujo**

##### **A. Flujo con régimen laminar**

Se presenta si las fuerzas viscosas son muy fuertes con relación a las fuerzas inerciales.

El movimiento de las partículas del fluido se realiza siguiendo trayectorias definidas o líneas de corriente y las capas de fluido con espesor infinitesimal parecen deslizarse sobre capas adyacentes.

##### **B. Flujo con régimen turbulento**

Se presenta si las fuerzas viscosas son débiles con relación a las fuerzas inerciales. Las partículas del fluido con régimen laminar se mueven ordenadamente siguiendo trayectorias definidas, pero al aumentar la velocidad las partículas del fluido chocan entre sí y se desvían siguiendo trayectorias irregulares que no son suaves ni fijas y que constituyen el flujo turbulento.

##### **C. Flujo con régimen transicional**

La transición de flujo con régimen laminar a turbulento es gradual y se llama transicional. Se presenta cuando el filamento del fluido comienza a hacerse inestable.

#### **1.2.2.2.3. Número de Reynolds**

Osborne Reynolds de la Universidad de Cambridge (Inglaterra) realizó sus experimentos para establecer el régimen de flujo en tuberías entre 1880 y



1884. El número de Reynolds representa la preponderancia de las fuerzas viscosas con relación a las fuerzas de inercia y permite clasificar el régimen de flujo.

—

Donde:

Re = Número de Reynolds

L = Longitud característica, usualmente en función del radio hidráulico

$\nu$  = Viscosidad cinemática [ para agua a 20 °C]

Si se usa como longitud característica el radio hidráulico, el número de Reynolds es — y los valores límites son:

Flujo laminar	Re < 500
Flujo turbulento	Re > 1 000
Flujo transicional	500 < Re < 1 000

Debe aclararse que en experimentos se ha demostrado que el régimen de flujo puede cambiar de laminar a turbulento con valores entre 500 y 12 500 cuando se ha trabajado con el radio hidráulico como longitud característica, por lo que algunos aceptan los siguientes límites:

Flujo laminar	Re < 500
Flujo turbulento	Re > 12 500*
Flujo transicional	500 < Re < 12 500

\* El límite superior no está definido.

Si se usa como longitud característica un valor de cuatro veces el radio hidráulico, ( $L = 4R$ ), se obtiene — en la práctica, se aceptan los siguientes límites:

Flujo laminar	$Re < 2\,000$
Flujo turbulento	$Re > 4\,000$
Flujo transicional	$2\,000 < Re < 4\,000$

### **1.2.3. Fundamentos de la hidrostática**

#### **1.2.3.1. Ley de la hidrostática**

La hidrostática es la parte de la física que estudia los líquidos en estado de equilibrio. Se alude a un estado de equilibrio, porque los líquidos en aparente estado de reposo en realidad están sujetos a la acción de fuerzas opuestas que se compensan.

Si en un sistema de vasos comunicantes se colocan dos líquidos de distinto pesos específicos (por ejemplo agua y mercurio) las presiones en uno y otro lado del sistema se igualarán cuando ambos lados soporten igual peso. Dado que el peso específico del mercurio es superior se requerirá un mayor volumen de agua, la cual quedará a mayor altura.

Debido a la diferencia de pesos específicos, la igualdad de presiones se producirá cuando ambas columnas tengan alturas diferentes.

La Ley fundamental de la hidrostática expresa que la diferencia de presiones entre dos puntos de un mismo líquido es igual al producto del peso específico del líquido por la diferencia de niveles.

### 1.2.3.2. Ecuación de continuidad

La cantidad de fluido que pasa por un sistema por unidad de tiempo puede expresarse por medio de tres términos distintos:

- Q            El flujo volumétrico es el volumen de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.
- W            El flujo peso es el peso del fluido que circula en una sección por unidad de tiempo
- M            El flujo másico es la masa de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.

El flujo volumétrico Q es la más importante de los tres, y se calcula con la siguiente ecuación:

Donde A es el área de la sección y v es la velocidad promedio del flujo. Al consultar el Sistema Internacional (SI), obtendremos las unidades de Q del modo siguiente:

— —

El flujo en peso se relaciona con Q por medio de la ecuación:

—

El flujo másico M se relaciona con Q por medio de la ecuación:

—

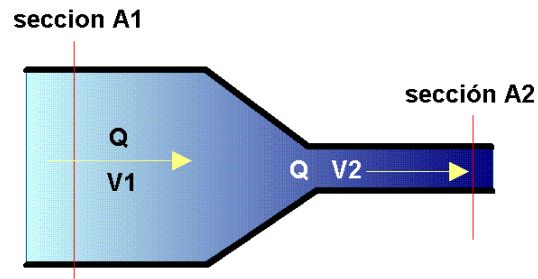
El método de cálculo de la velocidad de flujo en un sistema de ductos cerrados depende del principio de continuidad. Considere el conducto de la figura 12. Un fluido circulando con un flujo volumétrico constante de la sección 1 a la sección 2. Es decir, la cantidad de fluido que circula a través de cualquier sección en cierta cantidad de tiempo es constante. Esto se conoce como flujo estable. Por ello, si entre las secciones 1 y 2 no se agrega flujo ni se almacena o retira, entonces la masa de fluido que circula por la sección 2 en cierta cantidad de tiempo debe ser similar a la que circula por la sección 1. Esto se expresa en términos del flujo másico así:

$$M_1 = M_2$$

O bien, debido a que  $\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2$ , tenemos

La ecuación anterior es el enunciado matemático del principio de continuidad y se le denomina ecuación de continuidad. Se utiliza para relacionar la densidad de fluido, el área de flujo y la velocidad de éste en dos secciones del sistema donde existe flujo estable. Es válido para todos los fluidos, ya sean gases o líquidos.

Figura 12. **Ecuación de continuidad**



Fuente: <http://editorial.cda.ulpgc.es/instalacion/DIAPOSITIVAS/TEO001.gif>.

Si el fluido en el tubo de la figura 12 es un líquido incompresible, entonces los términos de la ecuación anterior son iguales. Así, la ecuación se convierte en:

O bien, debido a que  $Q = Av$ , tenemos:

La ecuación anterior es de continuidad tal como se aplica a los líquidos; enuncia que para un flujo estable volumétrico es el mismo en cualquier sección. También se emplea para gases a velocidad baja, es decir a menos de 100 m/s, con un mínimo margen de error.

### 1.2.3.3. Ecuación de Bernoulli

Es la ecuación de conservación de la energía. La energía que posee cada punto de un fluido en movimiento puede ser:

- Energía potencial (por su posición):  $E_p = m \cdot g \cdot h$  siendo  $h = z$  (cota)
- Energía de presión:  $\frac{p}{\rho \cdot g}$
- Ya que
- Energía cinética (debido su velocidad):  $\frac{v^2}{2g}$

Particularizando entre dos secciones 1 y 2 de la conducción, sumando los términos de energía y dividiendo entre  $(m \cdot g)$ :

$$\frac{m \cdot g \cdot z_1}{m \cdot g} + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{m \cdot g \cdot \frac{v_1^2}{2g}}{m \cdot g} = \frac{m \cdot g \cdot z_2}{m \cdot g} + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{m \cdot g \cdot \frac{v_2^2}{2g}}{m \cdot g}$$

Luego

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Obteniendo la ecuación de Bernoulli o de conservación de la energía, y que indica que en un fluido en movimiento sometido a la acción de la gravedad, la suma de las alturas geométrica, manométrica y cinética es constante para los diversos puntos de una línea de corriente.

En realidad, el término cinético  $\frac{v^2}{2g}$  varía al variar el módulo de la velocidad ( $v$ ) según el punto de la sección transversal considerada. Para que realmente represente a la energía cinética media que pasa por la sección, se corrige con el coeficiente de Coriolis  $\alpha$ , quedando el término cinético como  $\alpha \cdot \frac{v^2}{2g}$ . En régimen laminar,  $\alpha = 2$ , y en régimen turbulento,  $\alpha = 1$ .

Como en Hidráulica se trabaja generalmente en régimen turbulento, este término no se verá afectado.

#### **1.2.3.4. Ecuación de la energía**

La energía mecánica es la parte de la física que estudia el equilibrio y el movimiento de los cuerpos sometidos a la acción de fuerzas.

Hace referencia a las energías cinética y potencial.

##### **1.2.3.4.1. Energía cinética**

Se define como la energía asociada al movimiento. Ésta energía depende de la masa y de la velocidad según la ecuación:

–

Con lo cual un cuerpo de masa **m** que lleva una velocidad **v** posee energía.

##### **1.2.3.4.2. Energía potencial**

Se define como la energía determinada por la posición de los cuerpos. Esta energía depende de la altura y el peso del cuerpo según la ecuación:

Con lo cual un cuerpo de masa  $m$  situado a una altura  $h$  (se da por hecho que se encuentra en un planeta por lo que existe aceleración gravitatoria) posee energía. Debido a que esta energía depende de la posición del cuerpo con respecto al centro del planeta se la llama energía potencial gravitatoria.

### **1.2.3.5. Principio de Arquímedes**

Todo cuerpo sumergido en un líquido recibe de abajo hacia arriba un empuje igual al peso del líquido que desaloja.

El empuje hidrostático que recibe un cuerpo sumergido en un líquido, al ser contrario a la fuerza de gravedad, hace que disminuya su peso en un valor equivalente al peso del líquido desalojado.

El empuje hidrostático que reciba un cuerpo sumergido en un líquido, dependerá en primer lugar del peso específico del líquido en que se sumerja: y en segundo término, del volumen del cuerpo sumergido. Un mismo objeto que se hundiría en el agua, flotará en el mercurio.

Un trozo de metal sumergido en agua se hunde. Pero si con el mismo metal se hace un recipiente cilíndrico, o un pequeño barco, flotará a pesar de tener el mismo peso. Ello será debido a que, en la forma de recipiente o barco, el volumen de agua que se desplaza llega a pesar más que el metal, en tanto que antes, debido al menor volumen y mayor peso específico, el agua desplazada pesaba menos que el trozo de metal.

En realidad, el empuje es igual a la presión que realiza el líquido desplazado para volver a ocupar su espacio, ejercida en forma perpendicular a cada plano del objeto sumergido.



### **1.2.3.6. Ley de Pascal**

Una característica de cualquier fluido en reposo es que la fuerza ejercida sobre cualquier partícula del fluido es la misma en todas las direcciones. Si las fuerzas fueran desiguales, la partícula se desplazaría en la dirección de la fuerza resultante. De esto se deduce que la fuerza por unidad de superficie que el fluido ejerce sobre las paredes del recipiente que lo contiene es perpendicular a la pared en cada punto sea cual sea su forma. Si la presión no fuese perpendicular el fluido se movería a lo largo de la pared.

El principio de Pascal afirma que la presión aplicada sobre el fluido contenido en un recipiente se transmite por igual en todas las direcciones y a todas partes del recipiente, siempre que se puedan desprestigiar las diferencias del peso debidas al peso del fluido.

Este principio tiene aplicaciones muy importantes en hidráulica, y fue formulado por primera vez en una forma más amplia que la de Arquímedes por Pascal en 1647.

### **1.2.3.7. Tensión superficial**

En la superficie de contacto entre líquido y gas parece formarse en el líquido una película o capa especial, debida en apariencia a la atracción de las moléculas del líquido situadas por debajo de la superficie. Es un sencillo experimento colocar una aguja pequeña en la superficie del agua en reposo y observar como es soportada allí por la película.

Esta propiedad de la película superficial de ejercer una tensión se llama tensión superficial y es la fuerza necesaria para mantener la unidad de longitud

de la película en equilibrio. La tensión superficial del agua varía desde 0,00745 kg/m a 20 °C. Las tensiones superficiales de otros líquidos se dan en la tabla.

Tabla V. **Tensiones superficiales de otros fluidos**

Líquido	Tensión superficial
Alcohol etílico	0,00228
Benceno	0,00284
Tetracloruro de carbono	0,00272
Queroseno	0,00238-0,00327
Agua	0,00743
Mercurio	
En aire	0,00523
En agua	0,00401
En vacío	0,00495
Aceite	
Lubricante	0,00357-0,00387
Crudo	0,00238-0,00387

Fuente: Streeter. Víctor L. Mecánica de fluidos, p. 28.

Por la acción de la tensión superficial aumenta la presión dentro de una gotita de un líquido o dentro de un pequeño chorro de líquido. Para una pequeña gotita esférica de radio  $r$  la presión  $p$  necesaria para equilibrar la fuerza debida a la tensión superficial  $\sigma$  se calcula considerando las fuerzas que actúan sobre un cuerpo libre semiesférico.

—

Para un chorro cilíndrico de radio  $r$ , se considera las fuerzas que actúan sobre un cuerpo libre semicilíndrico, resulta

—

Ambas ecuaciones prueban que la presión es tanto mayor cuanto menor es el radio de la gotita o del cilindro.

La atracción capilar se origina por la tensión superficial y por el valor de la relación de la adhesión entre líquido y sólido y la cohesión del líquido. Un líquido que moja al sólido tiene mayor adhesión que cohesión. En este caso, la acción de la tensión superficial es causa de que el líquido se eleve dentro de un pequeño tubo vertical que se sumerja parcialmente en él. Para líquidos que no mojen al sólido, la tensión superficial tiende a hacer descender el menisco en un pequeño tubo. Cuando el ángulo de contacto entre líquido y sólido se conoce, la altura capilar puede conocerse si se supone una cierta forma al menisco.

#### **1.2.3.8. Cavitación**

Cuando un líquido se mueve en una región donde la presión es menor que la tensión de vapor, hierve y se forman burbujas de vapor en su seno. Las burbujas de vapor son arrastradas con el líquido hasta una región donde se alcanza una presión más elevada y allí desaparecen. Este fenómeno se llama cavitación. Si las burbujas de vapor están próximas (o en contacto) a una pared sólida cuando desaparecen, las fuerzas que el líquido ejerce al introducirse violentamente en las cavidades crean presiones localizadas muy altas que dañan la superficie sólida. El fenómeno es acompañado de ruidos y vibraciones

parecidos a los que se producen cuando se introduce arena dentro de una bomba centrífuga.

En un líquido en movimiento, el parámetro de cavitación es muy útil para caracterizar la susceptibilidad del sistema a la cavitación. Se define mediante:

---

Donde  $p$  es la presión absoluta en el punto considerado,  $p_v$  es la tensión máxima de vapor del líquido,  $\rho$  es su densidad y  $V$  es la velocidad no perturbada o de referencia. El parámetro de cavitación es una forma del coeficiente de presión. En dos sistemas geoméricamente semejantes habrá la misma probabilidad de que se produzca cavitación o habrá el mismo grado de cavitación para el mismo valor de  $\sigma$ . Cuando  $\sigma = 1$ , la presión se reduce a la tensión de vapor y se producirá ebullición.

#### **1.2.4. Turbo máquinas**

Una máquina hidráulica es un dispositivo capaz de convertir energía hidráulica en energía mecánica; pueden ser motrices (turbinas), o generatrices (bombas), modificando la energía total de la vena fluida que las atraviesa. En el estudio de las turbo máquinas hidráulicas no se tienen en cuenta efectos de tipo térmico, aunque a veces habrá necesidad de recurrir a determinados conceptos termodinámicos. Todos los fenómenos que se estudian serán en régimen permanente, caracterizados por una velocidad de rotación de la máquina y un caudal, constantes.

En una máquina hidráulica, el agua intercambia energía con un dispositivo mecánico de revolución que gira alrededor de su eje de simetría.

Éste mecanismo lleva una o varias ruedas, (rodetes o rotores), provistas de álabes, de forma que entre ellos existen unos espacios libres o canales, por los que circula el agua. Los métodos utilizados para su estudio son, el analítico, el experimental y el análisis dimensional.

El método analítico se fundamenta en el estudio del movimiento del fluido a través de los álabes, según los principios de la Mecánica de Fluidos.

El método experimental se fundamenta en la formulación empírica de la Hidráulica y la experimentación.

El análisis dimensional ofrece grupos de relaciones entre las variables que intervienen en el proceso, confirmando los coeficientes de funcionamiento de las turbo máquinas, al igual que los diversos números adimensionales que proporcionan información sobre la influencia de las propiedades del fluido en movimiento a través de los órganos que las componen.

#### **1.2.4.1. Clasificación de las turbo máquinas hidráulicas**

Una primera clasificación de las turbo máquinas hidráulicas, (de fluido incompresible), se puede hacer con arreglo a la función que desempeñan, en la forma siguiente:

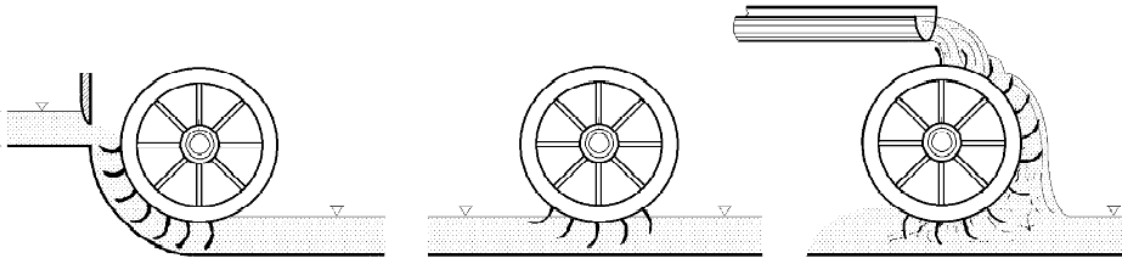
- A. Turbo máquinas motrices, que recogen la energía cedida por el fluido que las atraviesa, y la transforman en mecánica, pudiendo ser de dos tipos:
  - Dinámicas o cinéticas, turbinas y ruedas hidráulicas.

- Estáticas o de presión, celulares (paletas), de engranajes, helicoidales, etc.
- B. Turbo máquinas generatrices, que aumentan la energía del fluido que las atraviesa bajo forma potencial, (aumento de presión), o cinética; la energía mecánica que consumen es suministrada por un motor, pudiendo ser:
- Bombas de álabes, entre las que se encuentran las bombas centrífugas y axiales.
  - Hélices marinas, cuyo principio es diferente a las anteriores; proporcionan un empuje sobre la carena de un buque.
- C. Turbo máquinas reversibles, tanto generatrices como motrices, que ejecutan una serie de funciones que quedan aseguradas, mediante un rotor específico, siendo las más importantes:
- Grupos turbina-bomba, utilizados en centrales eléctricas de acumulación por bombeo.
  - Grupos Bulbo, utilizados en la explotación de pequeños saltos y centrales mareomotrices.
- D. Grupos de transmisión o acoplamiento, que son una combinación de máquinas motrices y generatrices, es decir, un acoplamiento (bomba-turbina), alimentadas en circuito cerrado por un fluido, en general aceite, al cual pertenecen los cambiadores de par.

### 1.2.4.1.1. Ruedas hidráulicas

Las ruedas hidráulicas son máquinas capaces de transformar la energía del agua, cinética o potencial, en energía mecánica de rotación. En ellas, la energía potencial del agua se transforma en energía mecánica, como se muestra en la fig. 13, o bien, su energía cinética se transforman en energía mecánica.

Figura 13. Ruedas hidráulicas



Fuente: Fernández Díez, Pedro. Turbinas hidráulicas. p. 3.

Se clasifican en:

- A. Ruedas movidas por el costado
- B. Ruedas movidas por debajo
- C. Ruedas movidas por arriba

Su diámetro decrece con la altura  $H$  del salto de agua. Los cangilones crecen con el caudal. Los rendimientos son del orden del 50% debido a la gran cantidad de engranajes intermedios. El número de rpm es de 4 a 8. Las potencias son bajas, y suelen variar entre 5 y 15 Kw, siendo pequeñas si se las

compara con las potencias de varios cientos de MW conseguidas en las turbinas.

#### **1.2.4.2. Turbinas**

Una turbo máquina elemental o monocelular tiene, básicamente, una serie de álabes fijos, (distribuidor), y otra de álabes móviles, (rueda, rodete, rotor). La asociación de un órgano fijo y una rueda móvil constituye una célula; una turbo máquina monocelular se compone de tres órganos diferentes que el fluido va atravesando sucesivamente, el distribuidor, el rodete y el difusor.

El distribuidor y el difusor (tubo de aspiración), forman parte del estator de la máquina, es decir, son órganos fijos; así como el rodete está siempre presente, el distribuidor y el difusor pueden ser en determinadas turbinas, inexistentes.

El distribuidor es un órgano fijo cuya misión es dirigir el agua, desde la sección de entrada de la máquina hacia la entrada en el rodete, distribuyéndola alrededor del mismo, (turbinas de admisión total), o a una parte, (turbinas de admisión parcial), es decir, permite regular el agua que entra en la turbina, desde cerrar el paso totalmente, caudal cero, hasta lograr el caudal máximo. Es también un órgano que transforma la energía de presión en energía de velocidad. En las turbinas hélicocentrípetas y en las axiales está precedido de una cámara espiral (voluta) que conduce el agua desde la sección de entrada, asegurando un reparto simétrico de la misma en la superficie de entrada del distribuidor.



El rodete es el elemento esencial de la turbina, estando provisto de álabes en los que tiene lugar el intercambio de energía entre el agua y la máquina. Atendiendo a que la presión varíe o no en el rodete.

#### **1.2.4.3. Clasificación de las turbinas**

Por el tipo de rodete se clasifican las turbinas y estas son:

- a) Turbinas de acción o impulsión; b) Turbinas de reacción o sobrepresión
- a) Turbinas de acción: en ellas el agua sale del distribuidor a la presión atmosférica, y llega al rodete con la misma presión. En estas turbinas, toda la energía potencial del salto se transmite al rodete en forma de energía cinética.
- b) turbinas de reacción: en ellas el agua sale del distribuidor con una cierta presión que va disminuyendo a medida que el agua atraviesa los álabes del rodete, de forma que, a la salida, la presión puede ser nula o incluso negativa. En estas turbinas el agua circula a presión en el distribuidor y en el rodete y, por lo tanto, la energía potencial del salto se transforma, una parte, en energía cinética, y la otra, en energía de presión.

El Difusor o tubo de aspiración es un conducto por el que desagua el agua, generalmente con ensanchamiento progresivo, recto o acodado, que sale del rodete y la conduce hasta el canal de fuga, permitiendo recuperar parte de la energía cinética a la salida del rodete para lo cual debe ensancharse. Si por razones de explotación el rodete está instalado a una cierta altura por encima del canal de fuga, un simple difusor cilíndrico permite su recuperación, que de

otra forma se perdería. Si la turbina no posee tubo de aspiración, se la llama de escape libre.

En las turbinas de acción, el empuje y la acción del agua, coinciden, mientras que en las turbinas de reacción, el empuje y la acción del agua son opuestos. Este empuje es consecuencia de la diferencia de velocidades entre la entrada y la salida del agua en el rodete, según la proyección de la misma sobre la perpendicular al eje de giro.

Atendiendo a la dirección de entrada del agua en las turbinas, éstas pueden clasificarse en:

- a) Turbinas axiales
- b) Turbinas radiales (centrípetas y centrífugas)
- c) Turbinas mixtas
- d) Turbinas tangenciales

Figura 14. a) Turbinas de acción; b) Turbinas de reacción

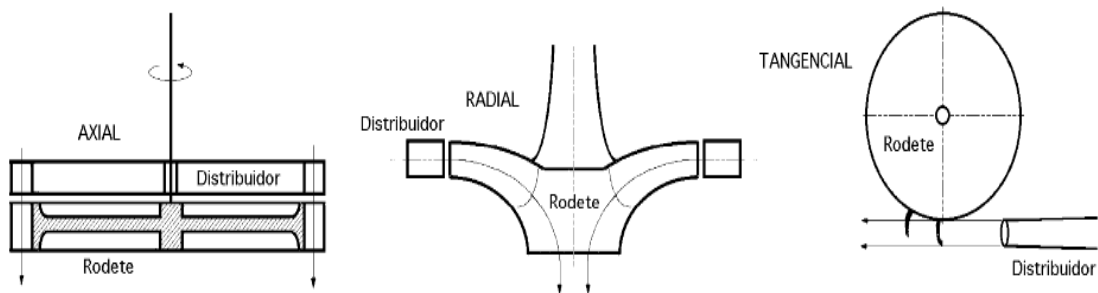


Fuente: Fernández Díez, Pedro. Turbinas hidráulicas. p. 4.

- a) Turbinas axiales: (Kaplan, hélice, Bulbo), el agua entra paralelamente al eje, tal como se muestra en la fig. 15.a.

- b) Turbinas radiales: el agua entra perpendicularmente al eje, fig. 15.b, siendo centrífugas cuando el agua va de adentro hacia afuera, y centrípetas, cuando el agua va de afuera hacia adentro, (Francis).
- c) Turbinas mixtas: se tiene una combinación de las anteriores.
- d) Turbina tangenciales: el agua entra lateral o tangencialmente (Pelton) contra las palas, cangilones o cucharas de la rueda, fig. 15.c.

Figura 15. **a) Turbina axial, b) Turbina radial, c) Turbina tangencial**



Fuente: Fernández Díez, Pedro. Turbinas hidráulicas. p. 5.

Atendiendo a la disposición del eje de giro, se pueden clasificar en:

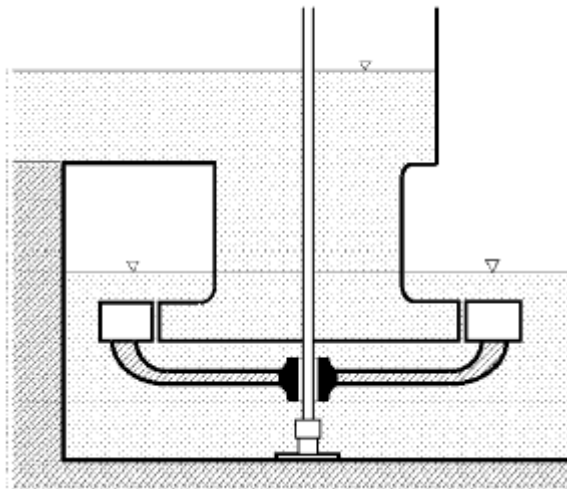
- a) Turbinas de eje horizontal
- b) Turbinas de eje vertical

### 1.2.4.3.1. Descripción de algunos tipos de turbinas hidráulicas

#### 1.2.4.3.1.1. Turbinas de reacción

La turbina Fourneyron (1833), es la que en rodete se mueve dentro del agua. Es una turbina radial centrífuga, lo que supone un gran diámetro de rodete; en la actualidad no se construye.

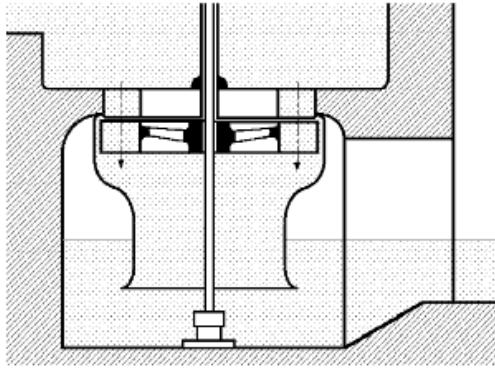
Figura 16. **Turbina Fourneyron**



Fuente: Fernández Díez, Pedro. Turbinas hidráulicas. p. 5.

La turbina Heuschel-Jonval es axial, y con tubo de aspiración; el rodete es prácticamente inaccesible; en la actualidad no se construye.

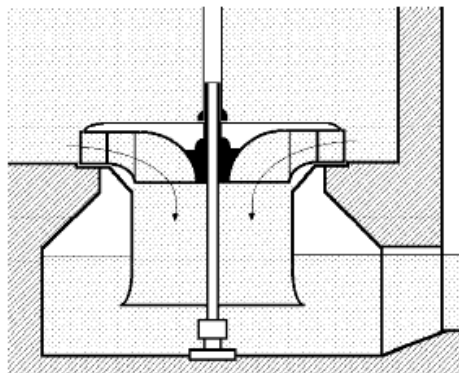
Figura 17. **Turbina Heuschel-Jonval**



Fuente: Fernández Díez, Pedro. Turbinas hidráulicas. p. 5.

La turbina Francis (1849), es radial centrípeta, con tubo de aspiración; el rodete es de fácil acceso, por lo que es muy práctica. Es fácilmente regulable y funciona a un elevado número de revoluciones; es el tipo más empleado y se utiliza en saltos variables, desde 0,5 m hasta 180 m; pueden ser, lentas, normales, rápidas y extra rápidas.

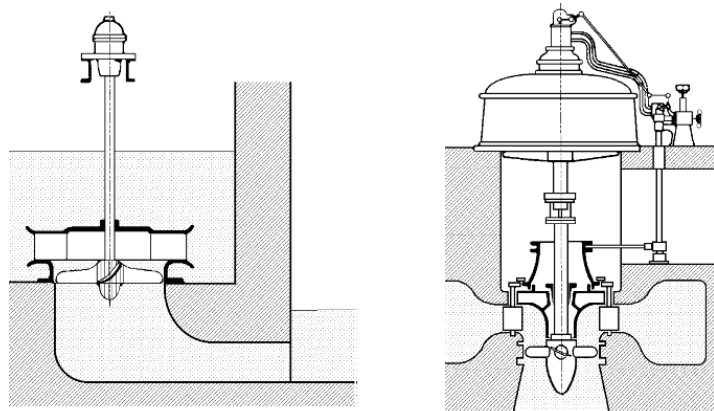
Figura 18. **Turbina Francis**



Fuente: Fernández Díez, Pedro. Turbinas hidráulicas. p. 5.

La turbina Kaplan (1912), las palas del rodete tienen forma de hélice; se emplea en saltos de pequeña altura, obteniéndose con ella elevados rendimientos, siendo las palas orientables lo que implica paso variable. Si las palas son fijas, se denominan turbinas hélice.

Figura 19. **Turbinas Kaplan**



Fuente: Fernández Díez, Pedro. Turbinas hidráulicas. p. 5.

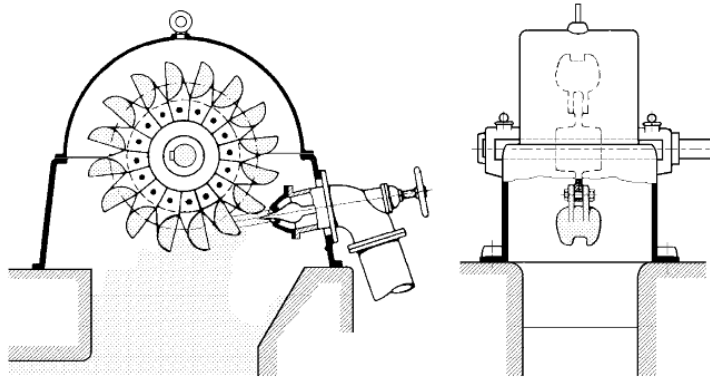
#### **1.2.4.3.1.2. Turbinas de acción**

Estas turbinas se empezaron a utilizar antes que las de reacción; entre ellas se tienen:

La turbina Zuppinger (1846), con rueda tangencial de cucharas.

La turbina Pelton es tangencial, y la más utilizada para grandes saltos.

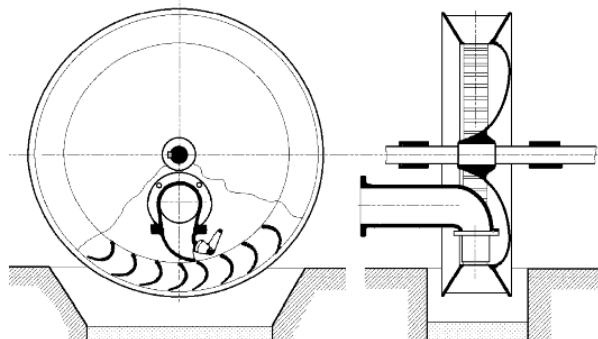
Figura 20. **Turbina Pelton**



Fuente: Fernández Díez, Pedro. Turbinas hidráulicas. p. 6.

La turbina Schwamkrug (1850), es radial y centrífuga.

Figura 21. **Turbina Schwamkrug**

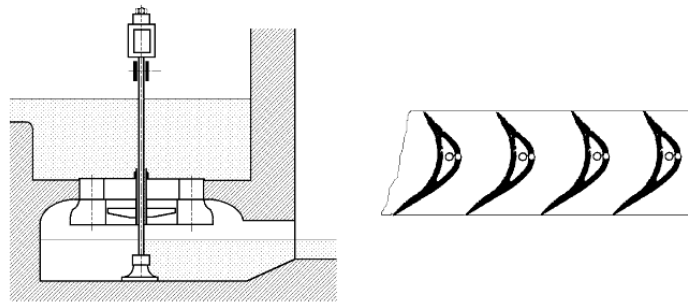


Fuente: Fernández Díez, Pedro. Turbinas hidráulicas. p. 6.

La turbina Girard (1863), es axial, con el rodete fuera del agua; mientras el cauce no subía de nivel, trabajaba como una de acción normal, mientras que

si el nivel subía y el rodete quedaba sumergido, trabajaba como una de reacción, aunque no en las mejores condiciones; en la actualidad no se utiliza.

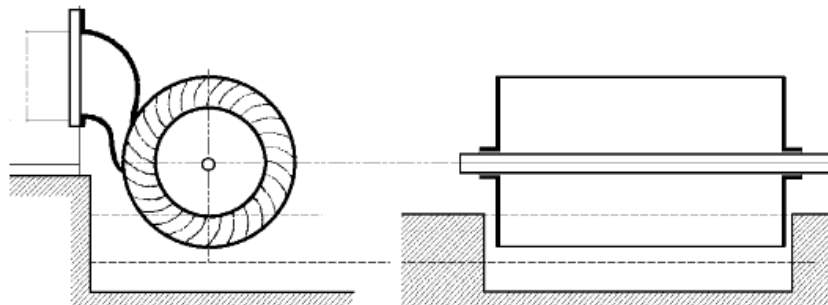
Figura 22. **Turbina Girard**



Fuente: Fernández Díez, Pedro. Turbinas hidráulicas. p. 7.

La turbina Michel o Banki es la que el agua pasa dos veces por los álabes del rodete, construido en forma de tambor; se utiliza para pequeños y grandes saltos.

Figura 23. **Turbina Michel**



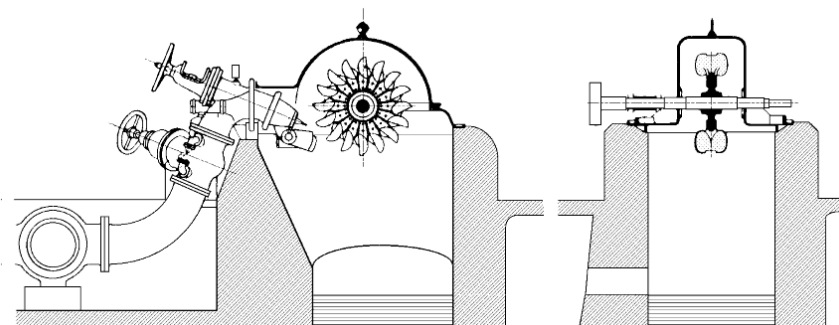
Fuente: Pedro Fernández Díez. Turbinas Hidráulicas. p. 7.



#### 1.2.4.4. Principio de funcionamiento de las turbinas Pelton

Las turbinas Pelton son turbinas de chorro libre que se acomodan a la utilización de saltos de agua con mucho desnivel y caudales relativamente pequeños, con márgenes de empleo entre 60 y 1 500 metros, consiguiéndose rendimientos máximos del orden del 90%.

Figura 24. Turbina Pelton

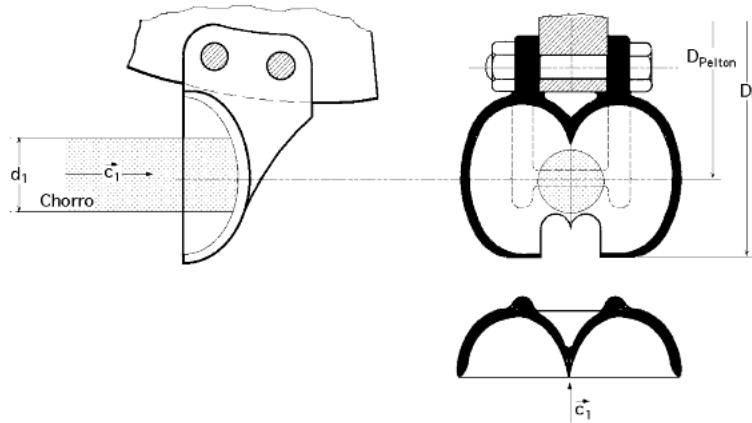


Fuente: Fernández Díez, Pedro. Turbinas hidráulicas. p. 44.

En una rueda Pelton la dirección del chorro no es ni axial ni radial, sino tangencial; el elemento constructivo más importante es la cazoleta en forma de doble cuchara, fig. 25, que recibe el chorro exactamente en su arista media donde se divide en dos, circulando por su cavidad y recorriendo hasta la salida casi un ángulo de  $180^{\circ}$ , contrarrestándose así los empujes axiales por cambio de dirección de los dos chorros.

El agua una vez sale de la cazoleta, cae libremente una cierta altura, pasando al cauce inferior.

Figura 25. **Cazoletas**



Fuente: Fernández Díez, Pedro. Turbinas hidráulicas. p. 44.

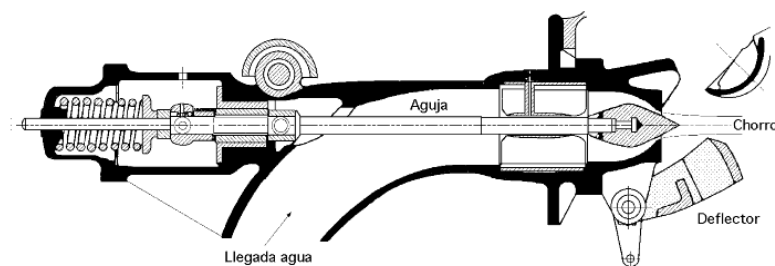
El inyector es el órgano regulador del caudal del chorro; consta de una válvula de aguja cuya carrera determina el grado de apertura del mismo. Para poder asegurar el cierre, el diámetro máximo de la aguja tiene que ser superior al de salida del chorro cuyo diámetro  $d$  se mide en la sección contraída, situada aguas abajo de la salida del inyector y en donde se puede considerar que la presión exterior es igual a la atmosférica.

El chorro está constituido por un núcleo central convergente de agua y una sección anular creciente que contiene una emulsión de agua y aire.

Con el fin de asegurar una buena regulación, conviene diseñar el inyector de forma que exista una proporcionalidad entre la potencia de la turbina y la carrera  $x$  de la aguja, por cuanto la potencia es proporcional al caudal y éste, a su vez, a la sección de paso normal al flujo.

La variación del caudal del chorro para regular la potencia se consigue mediante una aguja de forma especial, con cuyo accionamiento se puede estrangular la sección de salida de la boquilla. Su regulación puede ser manual o automática mediante un servomotor.

Figura 26. **Inyector**



Fuente: Fernández Díez, Pedro. Turbinas hidráulicas. p. 44.

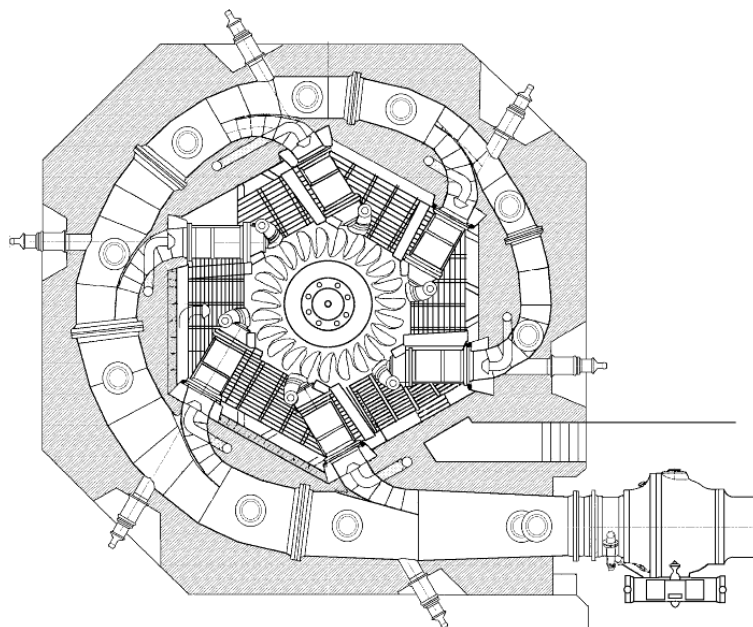
Tiene además otro sistema de regulación por desviación del chorro, que consiste en una superficie metálica llamada deflector, que se introduce en medio del chorro, dividiéndolo y desviando una parte del mismo, de forma que en vez de dirigirse contra las cazoletas, sale lateralmente sin producir ningún efecto útil. De esta forma se evitan sobrepresiones en la tubería, por cuanto el caudal que circula por ésta continua siendo el mismo.

Cuando se dispone de un solo inyector, el rodete tiene el eje de giro horizontal y el eje de salida del chorro es tangente horizontal, inferior a la circunferencia del rodete, cuyo diámetro se denomina diámetro Pelton, cayendo el agua a la salida de las cucharas al fondo de la turbina, sin interferir el giro del rodete.

Cuando el número de inyectores es dos, la turbina puede ser también de eje horizontal, disponiéndose los chorros según dos tangentes inferiores a la circunferencia Pelton, inclinadas un mismo ángulo a  $30^\circ$ , saliendo el agua de las cucharas sin interferir al rodete.

Para un número superior de inyectores, fig. 27, la rueda Pelton es de eje vertical ya que de ser horizontal, sería imposible evitar que el agua cayera sobre la rueda a la salida de las cucharas. Un chorro bien diseñado no debe tener un diámetro  $d$  superior a 27 cm, por lo que para establecer el número de inyectores hay que partir de la condición de que su diámetro no sea superior a este límite, teniendo en cuenta a su vez, el límite superior impuesto por la velocidad específica por chorro, en función del salto.

Figura 27. **Turbina Pelton de 6 inyectores**



Fuente: Fernández Díez, Pedro. Turbinas hidráulicas. p. 45.

El hecho de sustituir un número de inyectores de unas dimensiones determinadas, por un mayor número de inyectores de dimensiones más pequeñas, permite construir turbinas de mayor diámetro, girando a una velocidad mayor; sin embargo no se deben sobrepasar ciertos límites impuestos por la necesidad de evacuar el agua convenientemente, así como la fatiga del material de las cucharas sometidas a esfuerzos repetidos, tanto más frecuentes cuanto mayor sea el número de chorros.

La regulación es para mantener constante la velocidad de la turbina, el caudal inyectado tiene que adaptarse en cada instante al valor de la carga, por lo que la posición del inyector tiene que ajustarse mediante un regulador que actúa según la velocidad de la turbina y en el caso más general, en forma automática, fig. 28.

Si se supone que la turbina se ha acelerado, el regulador 7 levantará la válvula 1 y el aceite a presión entrará en el cilindro grande haciendo bajar el émbolo del servomotor 8, con lo que la palanca 2 bajará y el deflector 6 cortará al chorro desviando una parte del mismo.

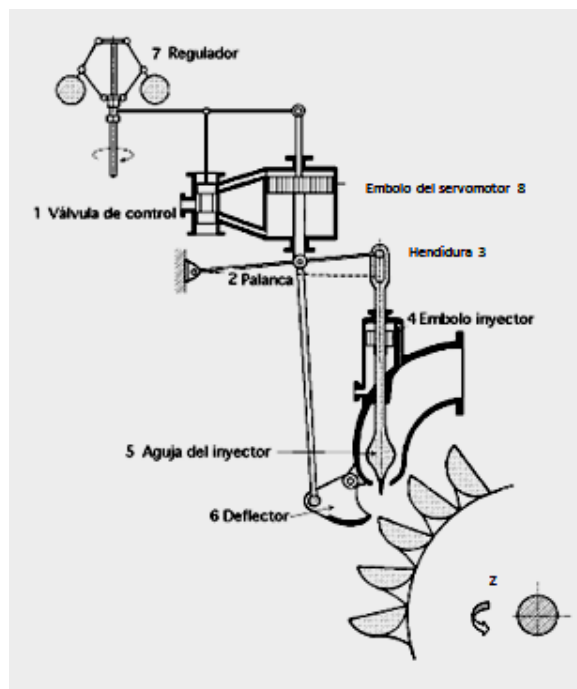
El punzón 5 de la aguja del inyector que estaba retenido por la palanca 2 no avanza solidariamente con ésta, debido al huelgo de la hendidura 3, sino que es empujado lentamente por el agua a presión que pasa por un orificio estrecho, señalado en la figura y que actúa sobre el émbolo inyector 4. El punzón en su avance llega a encontrarse con el tope inferior de la hendidura 3 que le impide seguir cerrando la salida del inyector. Si sobreviene una carga brusca, el émbolo del servomotor 8 actuará en sentido contrario, tirando rápidamente de la aguja 5 hacia atrás y llevando, simultáneamente, el deflector a su posición primitiva.

Cuando se utilizan grandes caudales de agua y se emplee un solo inyector, las cazoletas resultan muy grandes y pesadas. También se encuentra el inconveniente de que toda la fuerza tangencial se ejerce en un solo punto de la rueda, lo que representa un desequilibrio dinámico.

En consecuencia conviene hacer el montaje de dos o más inyectores cuando el caudal lo requiera, por lo que las cazoletas estarán menos cargadas y, por lo tanto, serán más pequeñas.

El par motor se distribuye más uniformemente sobre la periferia de la rueda, aumenta el número específico de revoluciones en  $z$  y a igualdad de diámetro del rodete, la turbina adquiere una velocidad angular mayor.

Figura 28. **Regulación simple**



Fuente: Fernández Díez, Pedro. Turbinas hidráulicas. p. 46.

#### **1.2.4.5. Acumulador**

Los fluidos en los sistemas hidráulicos no pueden ser comprimidos como los gases y así almacenarse para ser usados en diferentes lugares o tiempos distintos.

Un acumulador consiste en un depósito destinado a almacenar una cantidad de fluidos incomprensibles y conservarlo a una cierta presión mediante una fuerza externa.

El fluido hidráulico bajo presión entra a las cámaras del acumulador y hace una de estas tres funciones: comprime un resorte, comprime un gas o levanta un peso, y posteriormente cualquier caída de presión en el sistema provoca que el elemento reaccione y fuerce al fluido hacia afuera otra vez.

Los acumuladores en los cilindros hidráulicos se pueden aplicar como:

- Acumulador de energía
- Anti golpe de ariete
- Anti pulsaciones
- Compensador de fugas
- Fuerza auxiliar de emergencia
- Amortiguador de vibraciones
- Transmisor de energía de un fluido a otro

##### **1.2.4.5.1. Tipos de acumuladores**

En la actualidad existen varios tipos de acumuladores según su funcionamiento, entre ellos están:

- Contrapeso
- Cargado por muelle
- Pistón
- Gas no separado
- Diafragma
- Vejiga

#### **1.2.4.5.1.1. Acumulador de contrapeso**

El acumulador de contrapeso consiste en un cilindro hidráulico en el que se coloca un peso que nos acciona sobre el pistón; dicho peso nos determina la presión que tendrá el fluido acumulado en el interior.

Este tipo de acumulador es muy voluminoso y por esta razón se utiliza poco, a pesar de que tiene la ventaja de su gran capacidad, su coste reducido y la posibilidad de tener la misma presión desde que empieza a elevar el contrapeso hasta su capacidad total.

El tipo y la aplicación del acumulador dependen de la presión del caudal de aceite que se necesite. El acumulador de contrapeso produce presión constante.

#### **1.2.4.5.1.2. Acumulador cargado por muelle**

En un acumulador cargado por muelle la presión se aplica al fluido al comprimirse el resorte localizado atrás del pistón del acumulador.



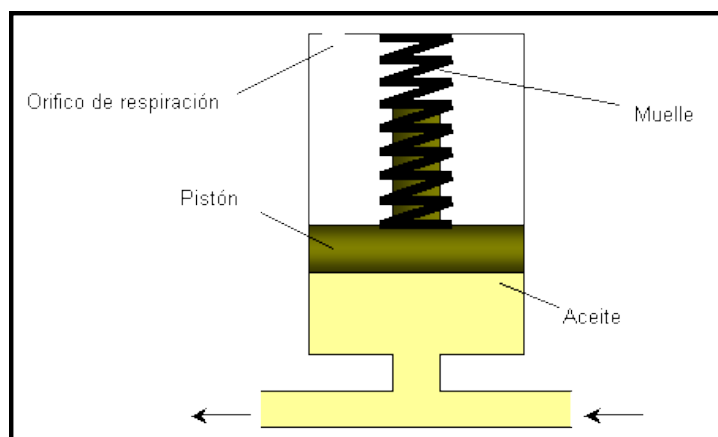
La presión es igual a la fuerza instantánea del resorte dividida por el área del pistón:

---

La fuerza del pistón = constante del resorte x (distancia de compresión). Entonces la presión no es constante, ya que la fuerza del resorte aumenta cuando entra el fluido a las cámaras y decrece cuando es expulsado.

Los acumuladores de resorte pueden ser montados en cualquier posición. Las fuerzas involucradas hacen que los tamaños de los resortes sean poco prácticos. Este acumulador no requiere precarga. El intervalo de presión no es fácil de ajustar. En la figura 29 vemos el acumulador de este tipo.

Figura 29. **Acumulador cargado con muelle**



Fuente: Manual de Mecánica Industrial, p. 192.

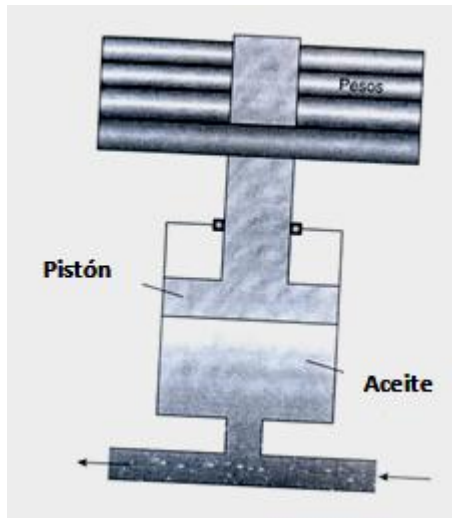
### **1.2.4.5.1.3. Acumulador de pistón**

El acumulador de émbolo consiste en un depósito parecido a un cilindro hidráulico en cuyo interior se ha colocado un émbolo que nos separa la cámara interior. En un lado del émbolo se coloca el gas a presión y cuando le damos el fluido por el otro lado el émbolo nos eleva éste comprimiendo el gas de la cámara opuesta.

Este tipo de acumulador es adecuado para grandes presiones y grandes caudales. Por encima de 200 Bar, se produce juego entre el pistón y la camisa al dilatarse éste. Presentan cierta inercia por la masa del pistón o por el rozamiento de juntas.

Este acumulador puede cargarse con gas a presión antes de instalarlo en el sistema. Acumulan gran cantidad de energía con relación a su tamaño y funcionan con gran precisión y seguridad. Se utiliza todo el volumen útil. Mantenimiento simple. Gran duración. Ninguna limitación entre la presión del circuito y la presión de precarga del nitrógeno. la cámara del gas (nitrógeno) del acumulador del volumen inicial  $V$  está pre hinchado a una cierta presión que permitirá al acumulador, una vez en servicio, funcionar entre las presiones  $P_1$  y  $P_2$  (mínima y máxima).

Figura 30. **Acumulador de pistón**



Fuente: Manual de Mecánica Industrial, p. 189.

#### **1.2.4.5.1.4. Acumulador de gas no separado**

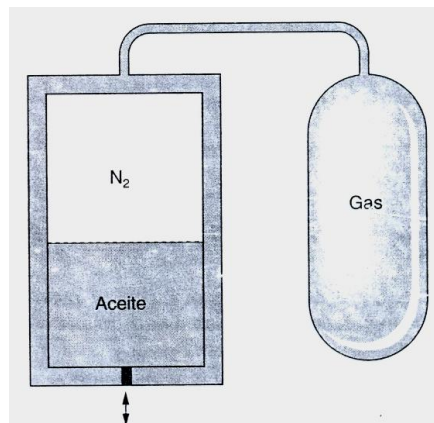
Los acumuladores de gas no separado consisten en un depósito en el que se coloca un volumen de fluido y a continuación se le da la presión al gas. Normalmente se instalan en circuitos cerrados, donde el volumen del aceite tiene un máximo y un mínimo dentro del acumulador.

Este acumulador es sencillo de construcción, económico y se puede realizar para caudales medianos. Tiene el inconveniente de que existe el peligro de que se mezcle el gas con el aceite.

Este acumulador se utiliza frecuentemente en máquinas de inyección de metal debido a que debe ser colocado verticalmente. Es importante seleccionar una relación volumen-presión tal, que el aceite utilizado durante la operación no

exceda de las dos terceras partes del volumen del acumulador, para así evitar descargas accidentales del gas al sistema. En la figura 31 vemos este tipo de acumulador

Figura 31. **Acumulador de gas no separado**

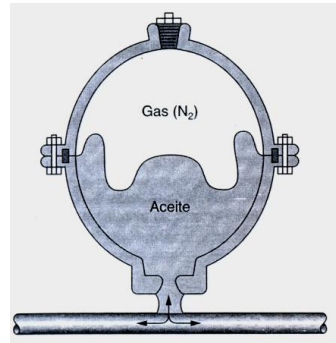


Fuente: Manual de Mecánica Industrial, p. 190.

#### **1.2.4.5.1.5. Acumulador de diafragma**

El acumulador de diafragma, normalmente, consta de dos medias esferas unidas y entre las que se mantiene un diafragma de separación. A un lado se coloca el gas a presión y, al otro, se hace entrar el fluido que queremos acumular. Este tipo de acumuladores son para caudales relativamente pequeños y presiones medias. En la figura 32 vemos un tipo de estos acumuladores.

Figura 32. **Acumulador de diafragma**



Fuente: Manual de Mecánica Industrial, p. 191.

#### **1.2.4.5.1.6. Acumulador de vejiga**

Probablemente el acumulador más comúnmente usado es el que la cámara se precarga con gas inerte, usualmente nitrógeno seco. El oxígeno nunca debe usarse debido a su tendencia a quemarse o explotar al ponerse en contacto con el aceite bajo presión. El aire se usa algunas veces, pero tampoco se recomienda por lo mismo.

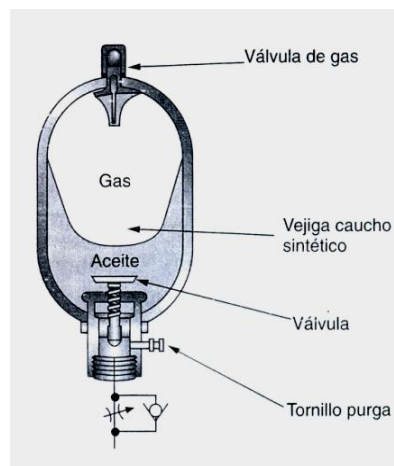
Un acumulador cargado por gas debe ser precargado cuando aún no contiene el fluido hidráulico. Las presiones de precarga varían con cada aplicación y dependen del intervalo de la presión de operación y del volumen del fluido requerido dentro de ese intervalo. Esta presión nunca debe ser menor de un cuarto y preferiblemente un tercio de la máxima presión de operación. La presión del acumulador varía en proporción a la compresión del gas, aumentando cuando el fluido es bombeado dentro y disminuyendo cuando éste es expulsado.

Muchos acumuladores incorporan una bolsa de hule sintético para contener el gas de precarga y separarlo del fluido hidráulico. Hay ciertos fluidos resistentes al fuego que no son compatibles con los materiales comunes de la bolsa o del diafragma, por lo cual es muy importante la selección del material de dicha bolsa.

El aceite disponible para la operación puede variar de un cuarto a tres cuartas partes de la capacidad total del acumulador, dependiendo de las condiciones de operación. Funcionando fuera de estos límites se ocasiona que el separador se agrande o encoja excesivamente, lo cual disminuye su durabilidad.

Algunos acumuladores llevan en su parte inferior una válvula reguladora unidireccional; si no la llevan, deben ponerla en la línea del acumulador para prevenir una descarga brusca que origina un golpe de ariete. En la figura 33 vemos el acumulador de este tipo.

Figura 33. **Acumulador de vejiga**



Fuente: Manual de Mecánica Industrial, p. 181.



## **2. ANÁLISIS DE RIESGO EN LA PLANTA HIDROELÉCTRICA CHIXOY**

El análisis de riesgo permite conocer los riesgos, anticiparse a sus consecuencias y determinar su impacto en las funciones críticas de la empresa. Disminuye los tiempos y costos y mejora los resultados de la respuesta.

El objeto de la Seguridad Industrial no es la protección en sí misma, sino la contribución que puede aportar a la empresa en términos de beneficios, vinculados con la libertad de acción y disponibilidad de bienes y productos y con mejoras en su posición de mercado. No se puede desarrollar ninguna función sin seguridad. Siempre existe una relación dinámica entre un valor, un riesgo o agente agresor y un agente protector. Si no hay valor, no hay nada que proteger.

El análisis de riesgo permite reconocer los posibles riesgos, con esto se puede optar por eliminarlos, reducirlos, transferirlos o asumirlos. Al haber reconocido todos estos tipos de riesgo se deberá tomar la decisión más apropiada, según sea el caso y aceptan el impacto sobre la respuesta de emergencia.

### **2.1. Tipos de riesgo**

#### **2.1.1. Riesgos físicos**

El ruido consiste en un movimiento ondulatorio producido en un medio elástico por una fuente de vibración. La onda es de tipo longitudinal cuando el



medio elástico en que se propaga el sonido es el aire y se regenera por variaciones de la presión atmosférica por, sobre y bajo el valor normal, originadas por la fuente de vibración.

La velocidad de propagación del sonido en el aire a 0 °C es de 331 metros por segundo y varía aproximadamente a razón de 0,65 metros por segundo por cada °C de cambio en la temperatura.

Existe un límite de tolerancia del oído humano. Entre 100-120 dB, el ruido se hace inconfortable. A las 130 dB se sienten crujidos; de 130 a 140 dB, la sensación se hace dolorosa y a los 160 dB el efecto es devastador. Esta tolerancia no depende mucho de la frecuencia, aunque las altas frecuencias producen las sensaciones más desagradables.

Las variaciones de la presión atmosférica no tienen importancia en la mayoría de las cosas. A lo que hay que poner interés es a las presiones que se manejan en la maquinaria, ya que al controlarlas de la manera inadecuada ocasionan riesgos para el operario.

Existen cargos cuyo sitio de trabajo se caracteriza por elevadas temperaturas, como en el caso de proximidad de hornos siderúrgicos, de cerámica y forjas, donde el ocupante del cargo debe vestir ropas adecuadas para proteger su salud.

En el otro extremo, existen cargos cuyo sitio de trabajo exige temperaturas muy bajas, como en el caso de los frigoríficos que requieren trajes de protección adecuados. En estos casos extremos, la insalubridad constituye la característica principal de estos ambientes de trabajo.

La cantidad de luminosidad que se presenta en el sitio de trabajo del empleado. No se trata de iluminación general sino de la cantidad de luz en el punto focal del trabajo. De este modo, los estándares de iluminación se establecen de acuerdo con el tipo de tarea visual que el empleado debe ejecutar, cuanto mayor sea la concentración visual del empleado en detalles y minucias, más necesaria será la luminosidad en el punto focal del trabajo.

La iluminación deficiente ocasiona fatiga a los ojos, perjudica el sistema nervioso, ayuda a la deficiente calidad del trabajo y es responsable de una buena parte de los accidentes de trabajo.

Niveles mínimos de iluminación para tareas visuales (en lúmenes)

Clase lúmenes:

- Tareas visuales variables y sencillas 250 a 500
- Observación continua de detalles 500 a 1 000
- Tareas visuales continuas y de precisión 1 000 a 2 000
- Trabajos muy delicados y de detalles + de 2 000

Las vibraciones se definen como el movimiento oscilante que hace una partícula alrededor de un punto fijo y se mide en Hz. Este movimiento, puede ser regular en dirección, frecuencia y/o intensidad, o bien aleatorio, que es lo más corriente.

Las radiaciones pueden ser definidas en general, como una forma de transmisión espacial de la energía. Dicha transmisión se efectúa mediante ondas electromagnéticas o partículas materiales emitidas por átomos inestables.

Una radiación es ionizante cuando interacciona con la materia y origina partículas con carga eléctrica (iones). Las radiaciones ionizantes pueden ser:

Electromagnéticas (rayos X y rayos Gamma)

Corpusculares (partículas componentes de los átomos que son emitidas, partículas Alfa y Beta).

Las exposiciones a radiaciones ionizantes pueden originar daños muy graves e irreversibles para la salud.

Respecto a las radiaciones no ionizantes, al conjunto de todas ellas se les llama espectro electromagnético.

Ordenado de mayor a menor energía se pueden resumir los diferentes tipos de ondas electromagnéticas de la siguiente forma:

- Campos eléctricos y magnéticos estáticos
- Ondas electromagnéticas de baja, muy baja y de radio frecuencia
- Microondas (MO)
- Infrarrojos (IR)
- Luz Visible
- Ultravioleta (UV)

Los efectos de las radiaciones no ionizadas sobre el organismo son de distinta naturaleza en función de la frecuencia. Los del microondas son especialmente peligrosos por los efectos sobre la salud derivados de la gran capacidad de calentar que tienen.

Las temperaturas extremas (frío, calor), el hombre necesita mantener una temperatura interna constante para desarrollar la vida normal. Para ello posee mecanismos fisiológicos que hacen que ésta se establezca a cierto nivel, 37 °C, y permanezca constante.

### **2.1.2. Riesgos químicos**

El problema del polvo es uno de los más importantes, ya que muchos polvos ejercen un efecto, de deterioro sobre la salud y así aumentar los índices de mortalidad por tuberculosis y los índices de enfermedades respiratorias. Se sabe que el polvo se encuentra en todas partes de la atmósfera terrestre y se considera verdadero que las personas expuestas a sitios donde existe mucho polvo son menos saludables que los que no están en esas condiciones, por lo que se considera que existen polvos dañinos y no dañinos.

Existe una clasificación simple, que se basa en el efecto fisiopatológico de los polvos y consta de lo siguiente:

- a. Polvos, como el plomo, que producen intoxicaciones
- b. Polvos que pueden producir alergias, tales como la fiebre de heno, asma y dermatitis
- c. Polvos de materias orgánicas, como el almidón
- d. Polvos que pueden causar fibrosis pulmonares, como los de sílice
- e. Polvos como los cromatos que ejercen un efecto irritante sobre los pulmones y pueden producir cáncer
- f. Polvos que pueden producir fibrosis pulmonares mínimas, entre los que se cuentan los polvos inorgánicos, como el carbón, el hierro y el bario.

Los Vapores son sustancias en forma gaseosa que normalmente se encuentran en estado líquido o sólido y que pueden ser tornadas a su estado original mediante un aumento de presión o disminución de la temperatura. El benceno se usa ampliamente en la industria, en las pinturas para aviones, como disolvente de gomas, resinas, grasas y hule, en las mezclas de combustibles para motores, en la manufactura de colores de anilina, del cuerpo artificial y de los cementos de hule, en la extracción de aceites y grasas, en la industria de las pinturas y barnices y para otros muchos propósitos.

La exposición o el contacto con diversos materiales en estado líquido pueden producir efectos dañinos sobre los individuos. Algunos líquidos que penetran a través de la piel llegan a producir cánceres ocupacionales y causan dermatitis. A continuación se dan los factores que influyen en la absorción a través de la piel:

- a. La transpiración mantenida y continua que se manifiesta en las respiraciones alcalinas priva a la piel de su protección grasosa y facilita la absorción a través de ella.
- b. Las circunstancias que crean una hiperemia de la piel también fomentan la absorción.
- c. Las sustancias que disuelven las grasas, pueden por si mismas entrar en el cuerpo o crear la oportunidad para que otras sustancias lo hagan.
- d. Las fricciones en la piel, tales como la aplicación de ungüentos mercuriales, producen también la absorción.

- e. La piel naturalmente grasosa ofrece dificultades adicionales a la entrada de algunas sustancias.
- f. Cuanto más joven es la piel mayor es la posibilidad de absorción a través de ella, con excepción de los años de la senilidad o la presencia de padecimientos cutáneos.
- g. Las interrupciones en el integumento, como las provocadas por dermatitis o traumas, favorecen la entrada al cuerpo, aunque, en realidad, no constituyen una verdadera absorción de la piel.
- h. La negligencia en evitar el contacto con materiales que pueden penetrar a través de la piel conduce a la absorción de tóxicos industriales.
- i. La cataforesis puede hacer que penetren a través de la piel sustancias que de otra manera no se absorberían.

En la mayoría de los países la causa más frecuente de la dermatosis es el aceite y la grasa del petróleo. Estas sustancias no son, necesariamente, irritantes cutáneos más poderosos que otros productos químicos, pero por lo común de su uso, ya que todas las máquinas usan lubricantes o aceites de distintas clases.

Existen irritantes primarios en los cuales hay varios ácidos inorgánicos, álcalis y sales, lo mismo que ácidos orgánicos y anhídridos que se encuentran en estado líquido. Los irritantes primarios afectan la piel en una o más de las siguientes formas:

- a. Los ácidos inorgánicos, los anhídridos y las sustancias higroscópicas actúan como agentes deshidratantes.
- b. Los agentes curtientes y las grasas de los metales pesados precipitan las proteínas.
- c. Algunos ácidos orgánicos y los sulfuros son agentes reductores.
- d. Los disolventes orgánicos y los detergentes alcalinos disuelven la grasa y el colesterol.

### **2.1.3. Riesgos biológicos**

Los contaminantes biológicos son seres vivos, con un determinado ciclo de vida que, al penetrar dentro del ser humano, ocasionan enfermedades de tipos infecciosos o parasitarios.

Son microorganismos, cultivos de células y endoparásitos humanos susceptibles de originar cualquier tipo de infección, alergia o toxicidad.

Son capaces de causar alteraciones en la salud humana. Las enfermedades producidas por agentes biológicos:

- Enfermedades transmisibles que padecen determinada especie de animales, y que a través de ellos, o de sus productos o despojos, se transmiten directa o indirectamente al hombre, como por ejemplo, el carbunco, el tétanos, la brucelosis y la rabia.

- Enfermedades infecciosas ambientales que padecen o vehiculan pequeños animales, como por ejemplo, toxoplasmosis, histoplasmosis, paludismo, etc.
- Enfermedades infecciosas del personal sanitario. Son enfermedades infecto-contagiosas en que el contagio recae en profesionales sanitarios o en personas que trabajen en laboratorios clínicos, salas de autopsias o centros de investigaciones biológicas, como por ejemplo, la Hepatitis B.

Grupos de riesgo: los contaminantes biológicos se clasifican en cuatro grupos de riesgo, según el índice de riesgo de infección:

- Grupo 1: incluye los contaminantes biológicos que son causa poco posible de enfermedades al ser humano.
- Grupo 2: incluye los contaminantes biológicos patógenos que pueden causar una enfermedad al ser humano; es poco posible que se propaguen al colectivo y, generalmente, existe una profilaxis o tratamiento eficaz. Ejemplo: gripe, tétanos, entre otros.
- Grupo 3: incluye los contaminantes biológicos patógenos que pueden causar una enfermedad grave en el ser humano; existe el riesgo que se propague al colectivo, pero generalmente, existe una profilaxis eficaz. Ejemplo: ántrax, tuberculosis, hepatitis.
- Grupo 4: contaminantes biológicos patógenos que causan enfermedades graves al ser humano; existen muchas posibilidades de que se propague al colectivo, no existe tratamiento eficaz. Ej.: virus del Ébola y de Marburg.



#### **2.1.4. Riesgos ergonómicos**

No existe una definición oficial de la ergonomía. Murrue la definió como "El estudio científico de las relaciones del hombre y su medio de trabajo". Su objetivo es diseñar el entorno de trabajo para que se adapte al hombre y así mejorar el confort en el puesto de trabajo.

Los siguientes puntos se encuentran entre los objetivos generales de la ergonomía:

- Reducción de lesiones y enfermedades ocupacionales
- Disminución de los costos por incapacidad de los trabajadores
- Aumento de la producción
- Mejoramiento de la calidad del trabajo
- Disminución del ausentismo
- Aplicación de las normas existentes
- Disminución de la pérdida de materia prima

Maneras para obtener los objetivos son:

- Apreciación de los riesgos en el puesto de trabajo
- Identificación y cuantificación de las condiciones de riesgo en el puesto de trabajo
- Recomendación de controles de ingeniería y administrativos para disminuir las condiciones identificadas de riesgos
- Educación de los supervisores y trabajadores acerca de las condiciones de riesgo

### **2.1.5. Riesgos psicosociales**

Los factores de riesgo psicosociales deben ser entendidos como toda condición que experimenta el hombre en cuanto se relaciona con su medio circundante y con la sociedad que le rodea, por lo tanto no se constituye en un riesgo sino hasta el momento en que se convierte en algo nocivo para el bienestar del individuo o cuando desequilibran su relación con el trabajo o con el entorno.

## **2.2. Factores de riesgo predominantes en la Planta Hidroeléctrica Chixoy**

Incendios y explosión; sismos y terremotos; vendavales e inundación; social; seguridad vial y transporte; incendio forestal y seguridad.

### **2.2.1. Incendio y explosión**

- Cortocircuito: en líneas eléctricas, tableros de control, lámparas fluorescentes, balastos, cajas de interconexión, interruptores, máquinas, equipos.
- Fuego en un generador: por sobrecalentamiento, por una falla de aislamiento o un cortocircuito.
- Fuego en un transformador de la subestación.
- Fuego dentro de un tanque: los tanques que contengan combustible deben tener al menos un venteo para mantener la presión atmosférica.

Causas de incendio y explosiones:

- Almacenamiento inadecuado de material combustible
- Fumar en las instalaciones de la empresa
- Uso y transporte inadecuado de combustible
- Escapes o derrames de líquidos combustibles por deficiencia en la manipulación del combustible

### **2.2.2. Sismos y terremotos**

Gran parte del territorio de Guatemala se encuentra en zona catalogada como alta actividad sísmica.

Las consecuencias:

- Incendios: cuando a causa del sismo hay cortocircuitos, derrame de combustible.
- Deslizamientos: en laderas susceptibles a la inestabilidad que sucumben al movimiento de la tierra. Licuación del suelo, fenómeno que se produce en suelos sueltos, saturados con agua. Crecidas repentinas a causa del terremoto se rompen presas o embalses. Daños en las estructuras, ruptura de tubería.

### **2.2.3. Tormentas e inundaciones**

Guatemala es un país que por su localización geográfica, su variabilidad meteorológica, sus condiciones hidrográficas especiales, lo hacen un país potencialmente vulnerable a tormentas e inundaciones que traen como consecuencia un aumento de caudal de los ríos afluentes de la presa causando desbordamiento en sus márgenes y zonas pobladas. Debido a las lluvias

abundantes el suelo se ve afectado en su estabilidad con desprendimiento de piedras y sedimentos en zonas de pendiente. Dichas inundaciones a nivel de la planta ocasionarían además de daños en los equipos, integridad física de las personas y funcionalidad de la empresa, podría afectar a los habitantes de la zona próxima al río.

Causas antropicas como ruptura de presa, tubería de presión (causas naturales, terrorismo) ruptura de tuberías que soportan altas presiones como manómetros, *by pass* en válvulas esféricas.

#### **2.2.4. Seguridad vial y transporte**

El hecho de que la Planta Chixoy (incluyendo el campamento), presa, conjunto administrativo de Li chinatzul se localizan alejados de centros urbanos, obligan al personal a desplazamientos en automotores, lo convierte en un riesgo para la seguridad física de los empleados.

El llevar a cabo obras civiles en carreteras por parte del personal de Chixoy se corre el riesgo de afectación personal y afectación a terceros.

El transportar en automotores de la empresa a personal ajeno a la misma se corre el riesgo de emergencia por accidente automotor con afectación a terceros.

#### **2.2.5. Seguridad**

Definiendo como riesgo de seguridad, la vulnerabilidad de la empresa ante actos intencionales de robo, hurto, atentados contra la integridad física de las personas, la estructura o equipos y observando lo complejo de las

instalaciones, que ocupan amplias áreas, infraestructura con equipos de importancia vital, con un alto costo y el ofrecer un servicio básico a la sociedad; hacen que la empresa tenga una alta vulnerabilidad en emergencias que tienen origen en la seguridad y que pueden acarrear consecuencias afectando personas, infraestructura, equipos y funcionalidad de la planta.

#### **2.2.6. Social**

La Casa de Máquinas Quixal, Presa Bocatoma, Agua Blanca y Planta Chichaic, son vecinas de comunidades con evidentes condiciones socioeconómicas bajas, esto en determinado momento podrían considerarse como factores de riesgos para la empresa y personal.

#### **2.2.7. Incendio forestal**

Definido como fuego que se propaga sin control consumiendo material vegetal en áreas donde predominan los bosques. Observando, las áreas que circunda las instalaciones en general de la planta, se aprecia alta vulnerabilidad en que se origine una emergencia por incendio forestal. El origen se puede dar por múltiples causas acentuadas por la deforestación y terrenos áridos, Entre otras causas tenemos: intencionales (sabotaje, pirómanos), involuntarias por quemas incontroladas, mal manejo de fogatas, etc. Originadas por la naturaleza por altas temperaturas en época de verano o por tormentas eléctricas.

Consecuencias: destrucción de los recursos naturales: vegetación, fauna, suelo, contaminación del aire; destrucción de bienes y riesgo para la vida de las personas.

## **2.3. Plan de Contingencia**

Se entiende por plan de contingencia a los procedimientos alternativos al orden normal de una empresa, cuyo fin es permitir el normal funcionamiento de esta, aún cuando alguna de sus funciones se viese dañada por un accidente interno o externo.

### **2.3.1. Propósito del plan de emergencias**

Ser instrumento que regirá todas las acciones que conlleven a la respuesta de manera objetiva de una emergencia y/o desastre.

#### **2.3.1.1. Fin principal del plan**

Salvaguardar las vidas humanas y salvaguardar los bienes de la empresa.

#### **2.3.1.2. Objetivos**

Objetivo general:

Evaluar, analizar y prevenir los riesgos de la planta hidroeléctrica Chixoy para evitar y mitigar las lesiones que las emergencias puedan ocasionar a nuestro personal y a terceros.

Objetivos específicos:

- Hacer un diagnóstico de vulnerabilidad estructural y funcional de La Planta Hidroeléctrica Chixoy.

- Detectar los riesgos y posibles consecuencias de los mismos en el personal, equipos, infraestructura y funciones de la empresa.
- Organizar simulacros de evacuación de forma periódica, dependiendo de la amenaza y disponibilidad del personal.

### **2.3.1.3. Comité de seguridad**

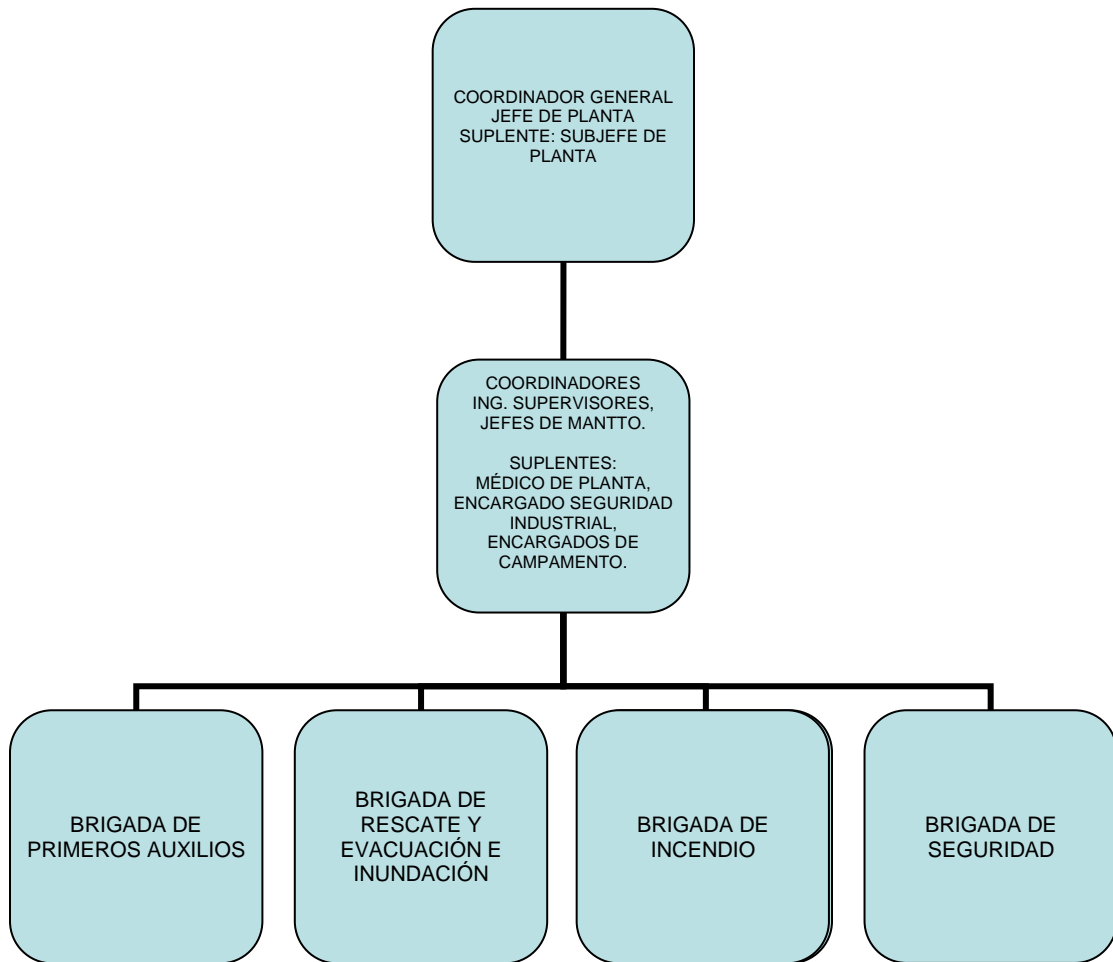
El Comité de Seguridad es el organismo responsable del Plan de Contingencias. Sus funciones básicas son: programar, dirigir, ejecutar y evaluar el desarrollo del plan, organizando asimismo las brigadas.

El Comité de Seguridad está constituido por:

- Jefe y Sub-jefe de planta
- Ingeniero Supervisor
- Jefe de Seguridad

Al accionarse la alarma de emergencia los miembros del Comité de Seguridad que se encuentren en el establecimiento, se dirigirán al punto de reunión preestablecido, donde permanecerán hasta que todo el personal haya sido evacuado.

Figura 34. **Organigrama general de la central Quixal  
plan de emergencias**



Fuente: Departamento de Seguridad Industrial.

### **2.3.1.3.1. Brigadas**

El aspecto más importante de la organización de emergencias es la creación y entrenamiento de las brigadas.



### **2.3.1.3.2. Funciones de las brigadas**

#### **2.3.1.3.2.1. Jefe de brigada**

- Comunicar de manera inmediata a la alta dirección de la ocurrencia de una emergencia.
- Verificar si los integrantes de las brigadas están suficientemente capacitados y entrenados para afrontar las emergencias.
- Estar al mando de las operaciones para enfrentar la emergencia cumpliendo con las directivas encomendadas por el Comité.

#### **2.3.1.3.2.2. Sub jefe de brigada**

Reemplazar al jefe de Brigada en caso de ausencia y asumir las mismas funciones establecidas.

#### **2.3.1.3.3. Brigada contra incendio**

- a. Comunicar de manera inmediata al Jefe de Brigada de la ocurrencia de un incendio.
- b. Actuar de inmediato haciendo uso de los equipos contra incendio (extintores portátiles).
- c. Estar lo suficientemente capacitados y entrenados para actuar en caso de incendio.
- d. Activar e instruir la activación de las alarmas contra incendio colocadas en lugares estratégicos de las instalaciones.

- e. Recibida la alarma, el personal de la citada brigada se constituirá con urgencia en el lugar siniestrado.
- f. Iniciado el fuego se evaluará la situación, la cual si es crítica informará a la Consola de Comando para que se tomen las acciones de evacuación del establecimiento.
- g. Adoptará las medidas de ataque que considere conveniente para combatir el incendio.
- h. Se tomarán las acciones sobre la utilización de los equipos de protección personal para los integrantes que realicen las tareas de extinción.
- i. Al arribo de la Compañía de Bomberos informará las medidas adoptadas y las tareas que se están realizando, entregando el mando a los mismos y ofreciendo la colaboración de ser necesario.

#### **2.3.1.3.4. Brigada de primeros auxilios**

- a. Conocer la ubicación de los botiquines en la instalación y estar pendiente del buen abastecimiento con medicamento de los mismos.
- b. Brindar los primeros auxilios a los heridos leves en las zonas seguras.
- c. Evacuar a los heridos de gravedad a los establecimientos de salud más cercanos a las instalaciones.
- d. Estar suficientemente capacitados y entrenados para afrontar las emergencias.

#### **2.3.1.3.5. Brigada de evacuación**

- a. Comunicar de manera inmediata al jefe de brigada del inicio del proceso de evacuación.
- b. Reconocer las zonas seguras, zonas de riesgo y las rutas de evacuación de las instalaciones a la perfección.

- c. Abrir las puertas de evacuación del local de inmediatamente si ésta se encuentra cerrada.
- d. Dirigir al personal y visitantes en la evacuación de las instalaciones.
- e. Verificar que todo el personal y visitantes hayan evacuado las instalaciones.
- f. Conocer la ubicación de los tableros eléctricos, llaves de suministro de agua y tanques de combustibles.
- g. Estar suficientemente capacitados y entrenados para afrontar las emergencias.

#### **2.3.1.3.6. Brigada contra fugas y derrames**

- a. Comunicar de manera inmediata al Jefe de Brigada de la ocurrencia de una fuga ó derrame.
- b. Actuar de inmediato haciendo uso de los cilindros con arena, paños absorbentes y tierra.
- c. Estar lo suficientemente capacitados y entrenados para actuar en caso de fuga y derrame.
- d. Activar e instruir en el manejo de las alarmas de fuga y derrame colocadas en lugares estratégicos de las instalaciones.
- e. Recibida la alarma, el personal de la citada brigada se constituirá con urgencia en la zona de ocurrencia.
- f. Producida la fuga ó derrame se evaluará la situación, la cual si es crítica informará al Comité de Seguridad reunido para que se tomen las acciones de evacuación del establecimiento.
- g. Adoptará las medidas de ataque que considere conveniente para combatir la fuga ó derrame.
- h. Se utilizará de manera adecuada los equipos de protección personal para los integrantes que realicen las tareas de control de la fuga ó derrame.

Al arribo de la Compañía de Bomberos informará las medidas adoptadas y las tareas que se están realizando, entregando el mando a los mismos y ofreciendo la colaboración de ser necesario.

#### **2.3.1.3.7. Pautas para las brigadas**

- En caso de siniestro, informará de inmediato Comité de Seguridad por medio de telefonía de emergencia o alarmas de incendio. Si la situación lo permite, intentará dominar el incendio con los elementos disponibles en el área (extintores) con el apoyo de la Brigada de Emergencias, sin poner en peligro la vida de las personas.
- Si el siniestro no puede ser controlado deberá evacuar al personal conforme lo establecido, disponiendo que todo el personal forme frente al punto de reunión del piso.
- Mantendrá informado en todo momento al Director de la emergencia de lo que acontece en el piso.
- Revisarán los compartimentos de baños y lugares cerrados, a fin de establecer la desocupación del lugar.
- Se cerrarán puertas y ventanas.
- Mantendrá el orden de evacuación evitando actos que puedan generar pánico, expresándose en forma enérgica, pero prescindiendo de gritar a fin de mantener la calma.
- La evacuación será siempre hacia las rutas de escape, siempre que sea posible.
- El responsable del establecimiento informará al Director de la emergencia cuando todo el personal haya evacuado.
- Los responsables de las áreas no afectadas, al ser informados de una situación de emergencia (ALERTA), deberán disponer que todo el personal forme frente al punto de reunión.

- Posteriormente aguardarán las indicaciones del Director de la emergencia a efecto de poder evacuar a los visitantes y empleados del lugar.

#### **2.3.1.3.8. Pautas para el personal que se encuentra en la zona de la emergencia**

Todo el personal estable del establecimiento debe conocer las directivas generales del plan de evacuación.

El personal que observe una situación anómala en donde desarrolla sus tareas, deberá dar aviso en forma urgente de la siguiente manera:

- Avisar al jefe inmediato de la manera más inmediata (radio, teléfono de emergencia).
- Accionar el pulsador de alarma.
- Se aconseja al personal que guarde los documentos de valor, así como también desconectar los artefactos eléctricos a su cargo, cerrar puertas y ventanas a su paso.
- Seguidamente, siguiendo indicaciones del Encargado de departamento, procederá a abandonar el lugar respetando las normas establecidas para el descenso.

### 2.3.1.4. Señalización industrial

En la planta Hidroeléctrica Chixoy se encuentra correctamente señalizada con indicadores visuales para cada área de trabajo mostrando las obligaciones y restricciones dentro de la planta y debidamente identificado con el código de colores.

Figura 35. Tipos de señalización industrial



Fuente: <http://static.obolog.net/multimedia/fotos/223000/222964/222964-128315.jpg> Noviembre

2010

### **2.3.1.5. Código de colores**

Dentro de la planta hidroeléctrica Chixoy se hace uso del código de colores con el objetivo de establecer en forma precisa, el uso de diversos colores de seguridad para identificar lugares y objetos, a fin de prevenir accidentes en todas las actividades humanas. A continuación se presenta los diferentes colores a utilizar y su significado.

#### **2.3.1.5.1. Color amarillo y negro**

El amarillo se utiliza en combinaciones con el negro para indicar lugares que deban resaltar de un conjunto, en prevención contra posibles golpes, caídas, tropiezos, originados por obstáculos, desniveles y se emplean entre otros en casos que se indican a continuación:

- Obstáculos a la altura de la cabeza: ejemplos: tirantes, caños superficies o relieves pronunciados.
- Obstáculos verticales que signifiquen riesgo de golpes, como por ejemplo: columnas pilares, costado de portones, parte inferior de portones que puedan ser embestidos por personas o vehículos.
- Desniveles bruscos en el piso, por ejemplo escalones aislados, fosas, etc.
- Bordes de fosos y plataformas no protegidas.
- Cualquier parte saliente de cualquier instalación que se proyecte dentro de áreas normales de trabajo.
- Barreras de advertencia de obstáculos o reparaciones de calles o caminos, pasos a nivel, etc.
- Vehículos de carga y pasajeros.
- Primera y última contrahuella de cada tramo de escalera.

- Carteles de señalización: fondo amarillo con letras o signos de color negro, para hacer resaltar su visibilidad, por ejemplo avisos de velocidad máxima, indicadores de curvas, advertencia de salidas de vehículos a la calle, prohibición de fumar, etc.

#### **2.3.1.5.2. Color anaranjado**

Este color se utilizará para indicar riesgos de máquinas o instalaciones en general, que aunque no necesiten protección completa, presenten un riesgo, a fin de prevenir cortaduras, desgarramientos, quemaduras y descargas eléctricas. Se aplicarán en los siguientes casos:

- Elementos de transmisión mecánica como: engranajes, poleas, volantes o partes cortantes de máquinas
- En interiores de tapas protectoras de órganos de máquinas, siendo la parte exterior del mismo color que la máquina
- Indicadores de límites de carreras de piezas móviles de máquinas
- Para señalar peligros momentáneos en lugares de tránsito

#### **2.3.1.5.3. Color verde**

Se utilizará para indicar la ubicación de elementos de seguridad y primeros auxilios y se aplicara en los siguientes casos:

- Ubicación de cajas de máscaras de protección respiratorias, duchas y lava ojos de seguridad, camillas, etc.
- Botiquines, vitrinas y armarios con anuncio de seguridad
- Puertas de acceso a salas de primeros auxilios



#### **2.3.1.5.4. Color rojo**

Se utilizará para indicar la ubicación de elementos para combatir incendios y se aplicará en los siguientes casos:

- Extintores portátiles, baterías contra incendios
- Hidrantes y su cañería
- Rociadores y sus cañerías (incluye cañerías de *sprinklers*)
- Carretel o rociador de mangueras
- Balde de arena y agua, palas y picos
- Nichos, cajas de alarmas, cajas de frazadas o mantas anti incendios
- Salida de emergencia, puertas de escape o puertas corta fuego

#### **2.3.1.5.5. Color azul**

Se utilizará para indicar precaución en situaciones tales como: tableros de control eléctrico, llaves o mecanismos en general, motores eléctricos, asegurándose antes de hacerlo que la puesta en marcha del dispositivo no sea causa de accidente; se aplicará en los siguientes casos:

- Cajas de interruptores eléctricos
- Botoneras de arranque en máquinas y aparejos
- Palancas de control eléctrico y neumático
- Dispositivos de puesta en marcha de máquinas y equipos

#### **2.3.1.5.6. Color blanco, gris o negro**

El color blanco o gris sobre fondo oscuro, o gris o negro sobre fondo claro, se utilizará para facilitar el mantenimiento del orden y la limpieza en los

locales de trabajo y también para indicar los límites de zonas de circulación de tránsito en general, pasajes, etc.

Posición de receptáculos para residuos y elementos de higiene; se aplicaran en los siguientes casos:

- Señalamiento de caminos para tránsito de vehículos y/o peatones
- Demarcación de pasillos que deban quedar libres de obstáculos
- Áreas destinadas al almacenamiento de materiales

#### **2.3.1.6. Equipo de seguridad e higiene del personal**

El equipo de seguridad adecuado que se debe utilizar en la Casa de Maquinas como en los talleres, con base en el análisis de riesgo, es el siguiente:

- a. Máscaras, mascarillas o caretas respiratorias, por la existencia de gases, vapores, polvo de plomo y otras emanaciones nocivas para la salud.
- b. Gafas y pantallas protectoras adecuadas, contra toda clase de proyección de partículas: sólidas, líquidas y gaseosas, que puedan causar daño al operador.
- c. Cascos para toda clase de proyecciones violentas o posible caída de materiales pesados.
- d. Guantes y gabachas de cuero con calzado especial, para la protección del cuerpo contra las proyecciones, contaminaciones y contactos peligrosos existentes.
- e. Tapones auditivos y orejeras de protección.
- f. Guantes de látex y algodón para manipular ácidos y sustancias tóxicas.

- g. Cualquier otro elemento, dispositivo o prenda que pueda proteger al trabajador contra los riesgos propios de su trabajo.

En la siguiente tabla se mostrará el equipo de rescate, evacuación, equipo de incendio y su ubicación:

Tabla VI. **Equipo de rescate, evacuación y equipo de incendio**

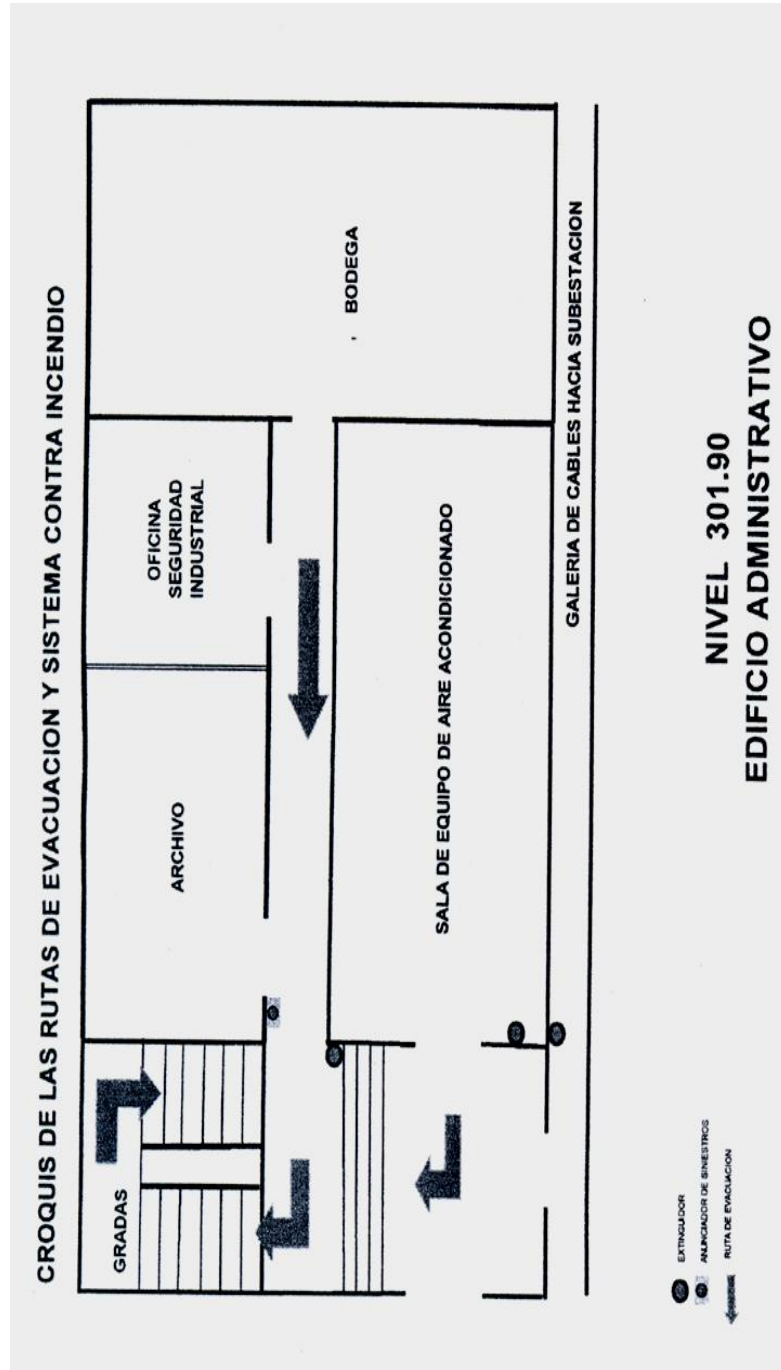
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UBICACIÓN
Parihuela	1	Nivel 296.20, Casa de máquinas
Tabla marina	2	Nivel 296.20, Casa de máquinas
Sábanas	4	Jefatura
Guantes de cuero	6	Jefatura
Extintores ABC y CO <sub>2</sub> portátiles	63	Casa de máquinas, edificio administrativo, bodega, área externa, planta diesel, turbina, auxiliar, cámara de válvula, casa comunal, destacamento de seguridad.
Sistemas automáticos y manuales a generadores y transformadores		Sala de mando y sala de relees
Traje de bombero	1	Jefatura

Fuente: Plan de Emergencia, Hidroeléctrica Chixoy.

#### 2.6.1.4. Rutas de Evacuación

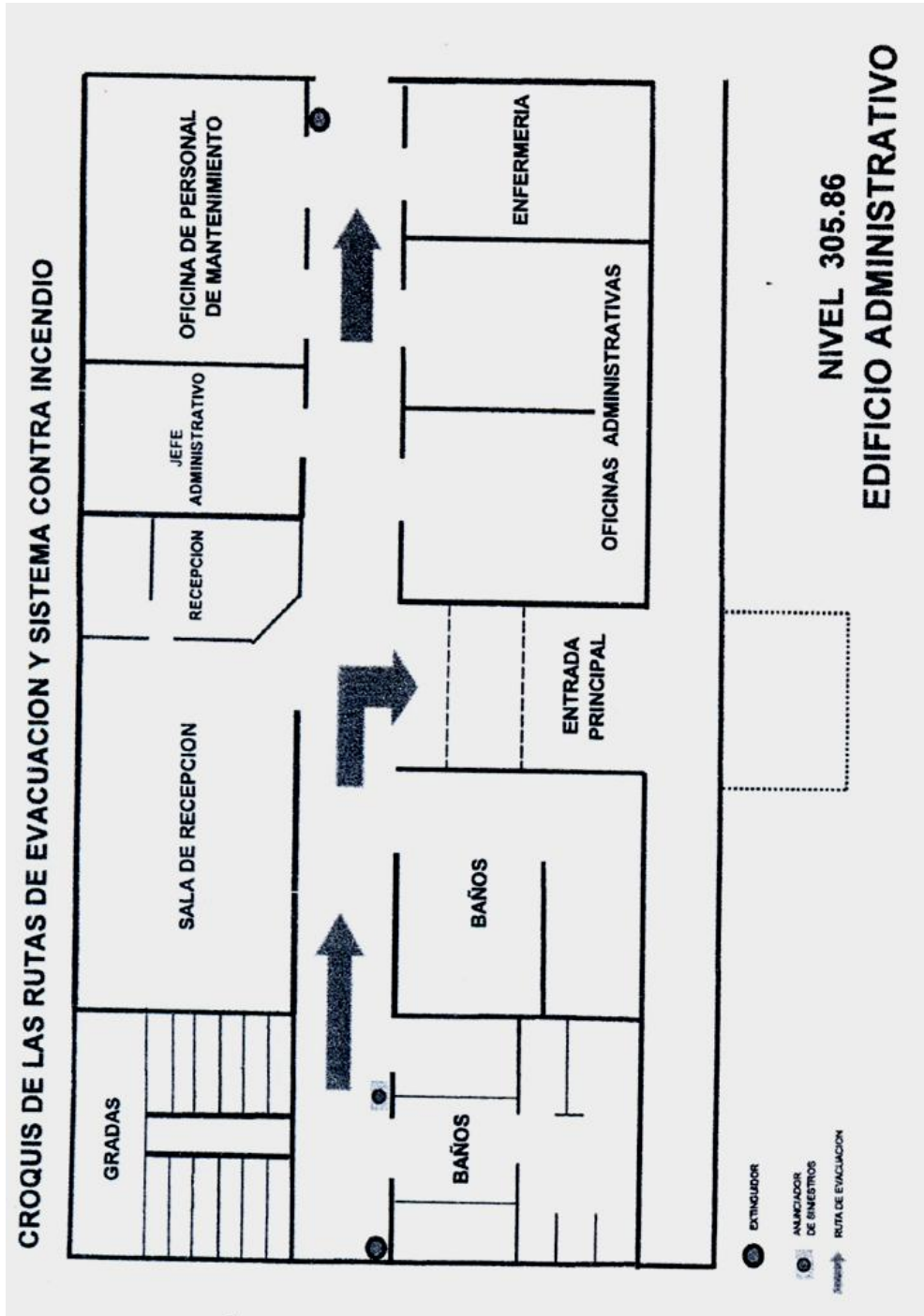
A continuación se muestran los croquis de rutas de evacuación y sistema contra incendio.

Figura 36. Croquis Nivel 301.90



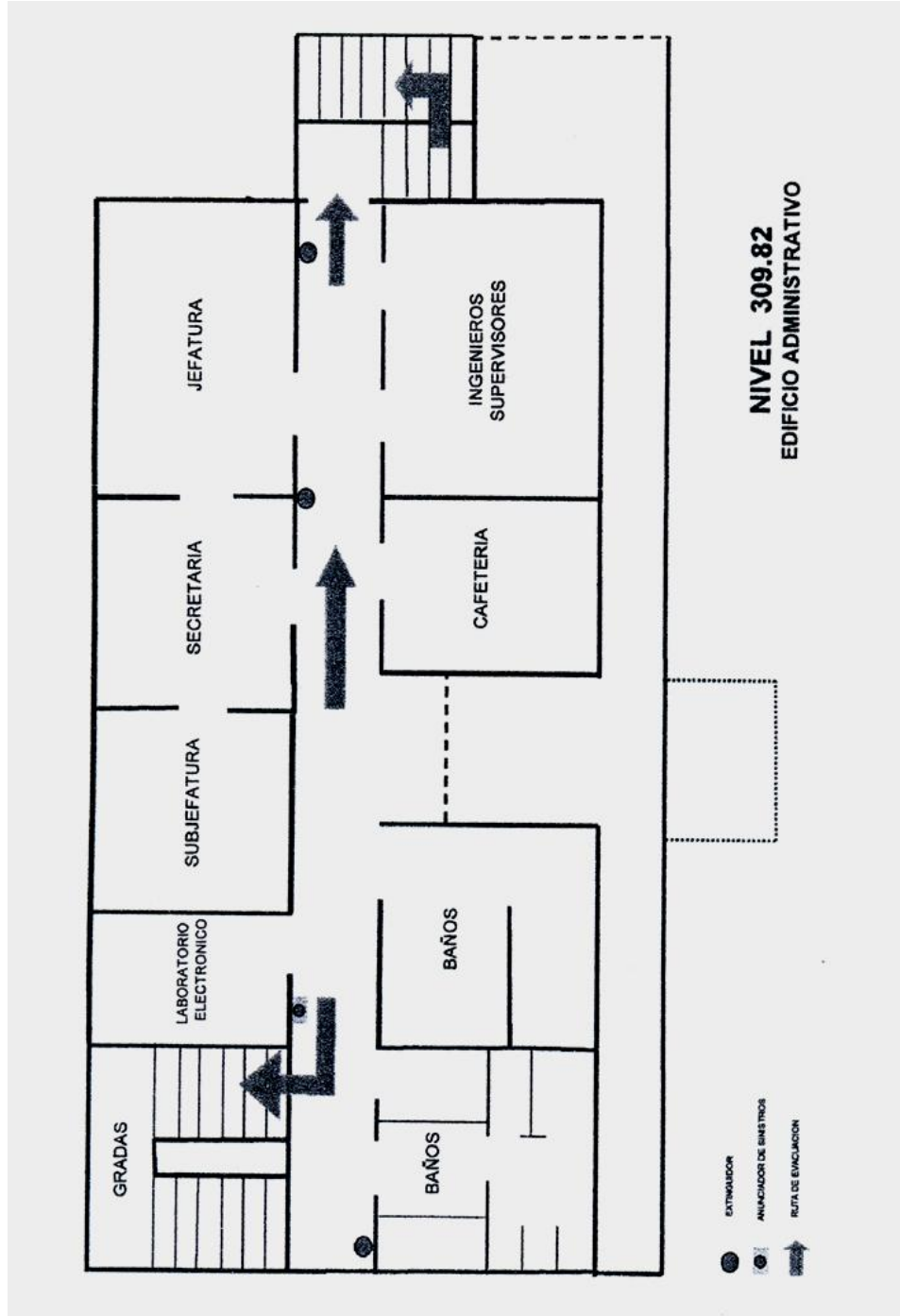
Fuente: Departamento de Seguridad Industrial.

Figura 37. Croquis Nivel 305.86



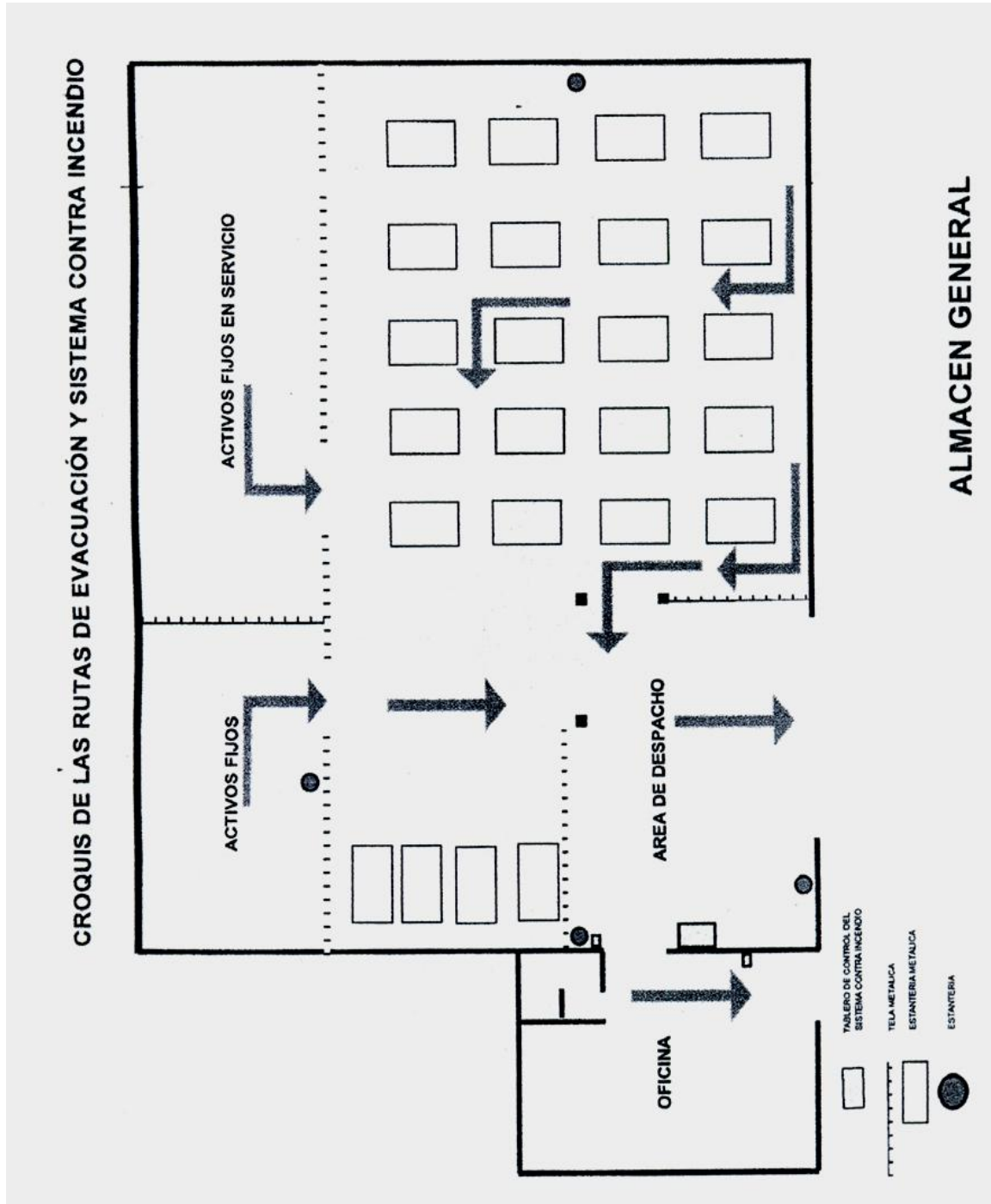
Fuente: Departamento de Seguridad Industrial.

Figura 38. Croquis Nivel 309.82



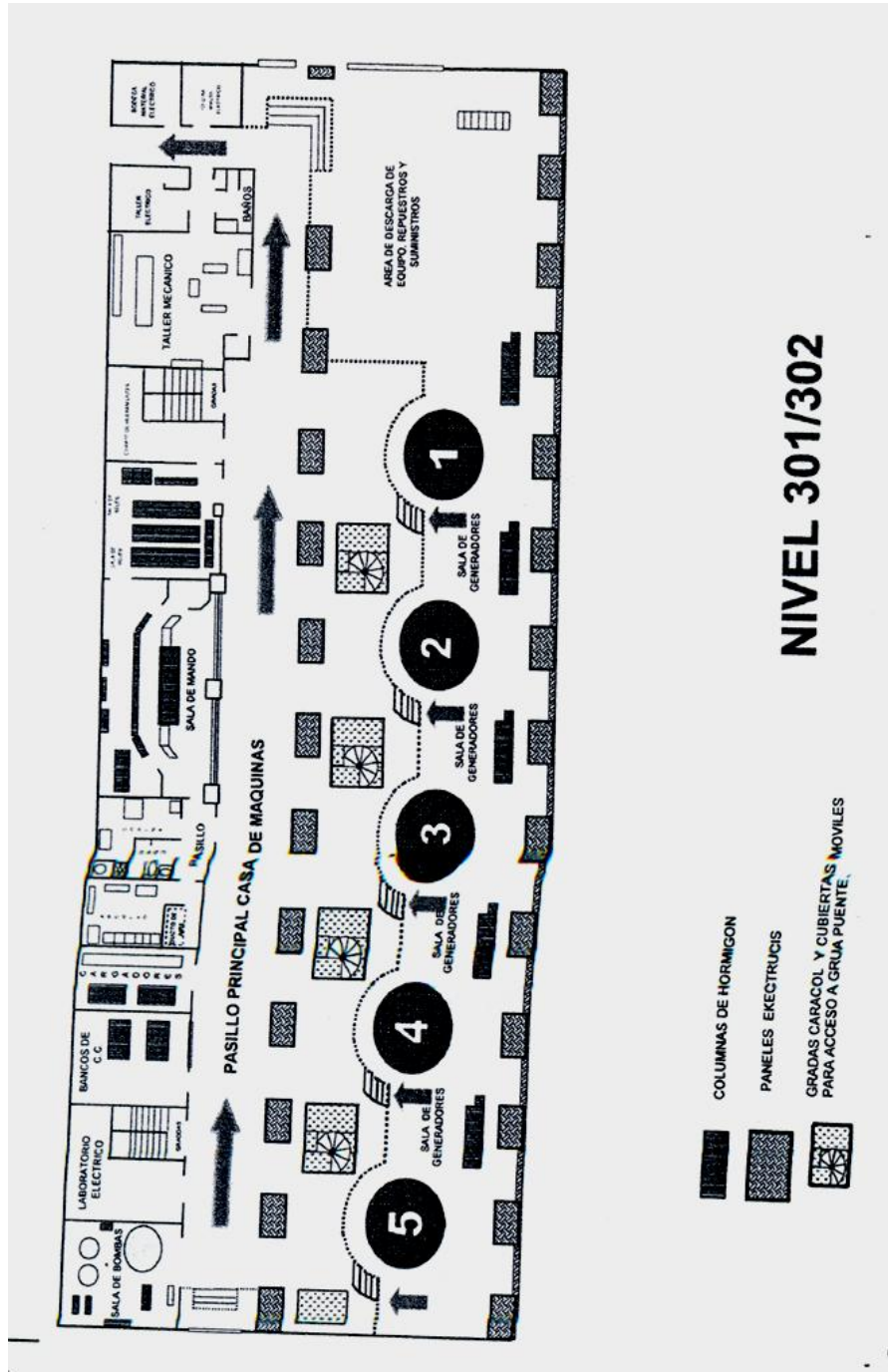
Fuente: Departamento de Seguridad Industrial.

Figura 39. Croquis Almacén General



Fuente: Departamento de Seguridad Industrial.

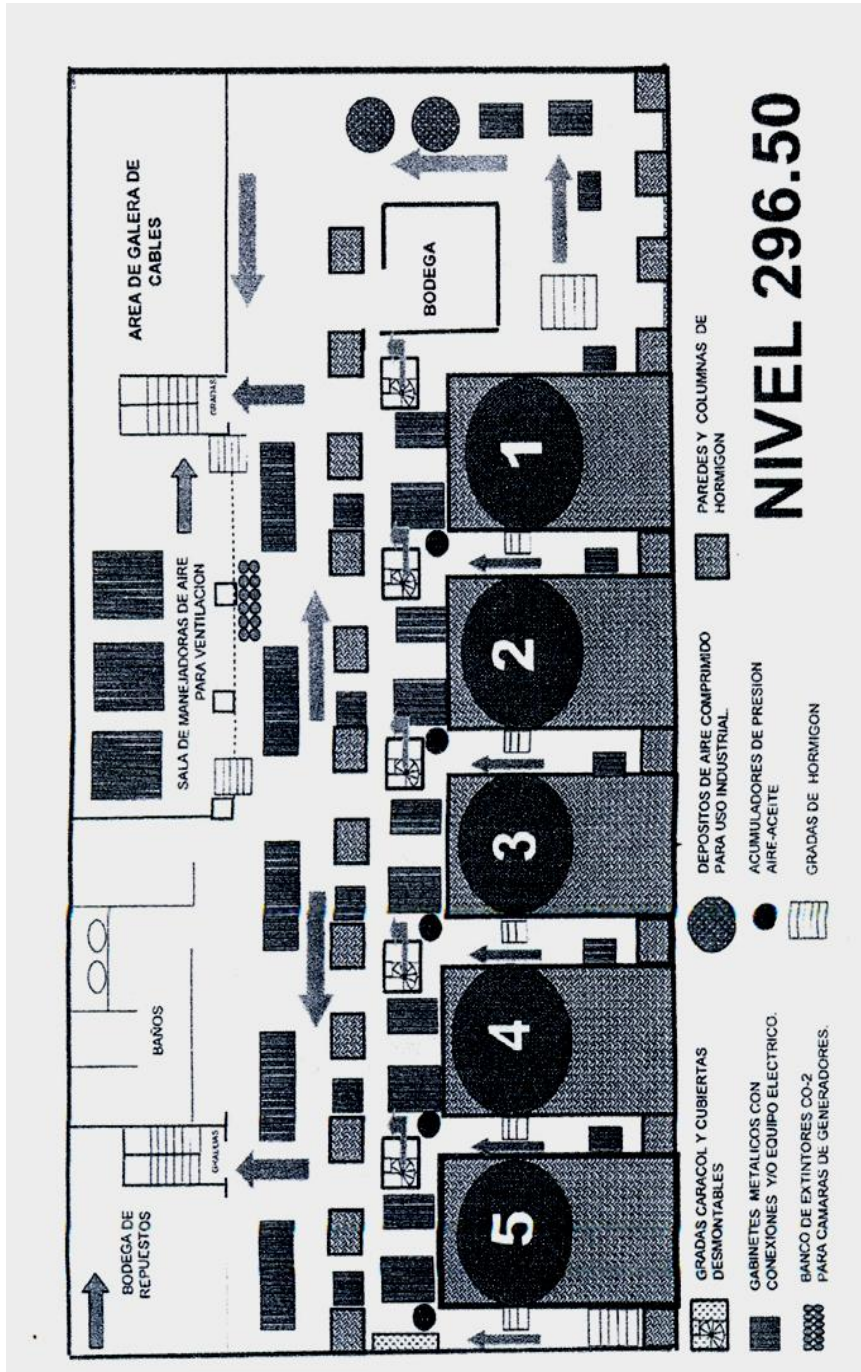
Figura 40. Croquis Nivel 301 y 302



Fuente: Departamento de Seguridad Industrial.

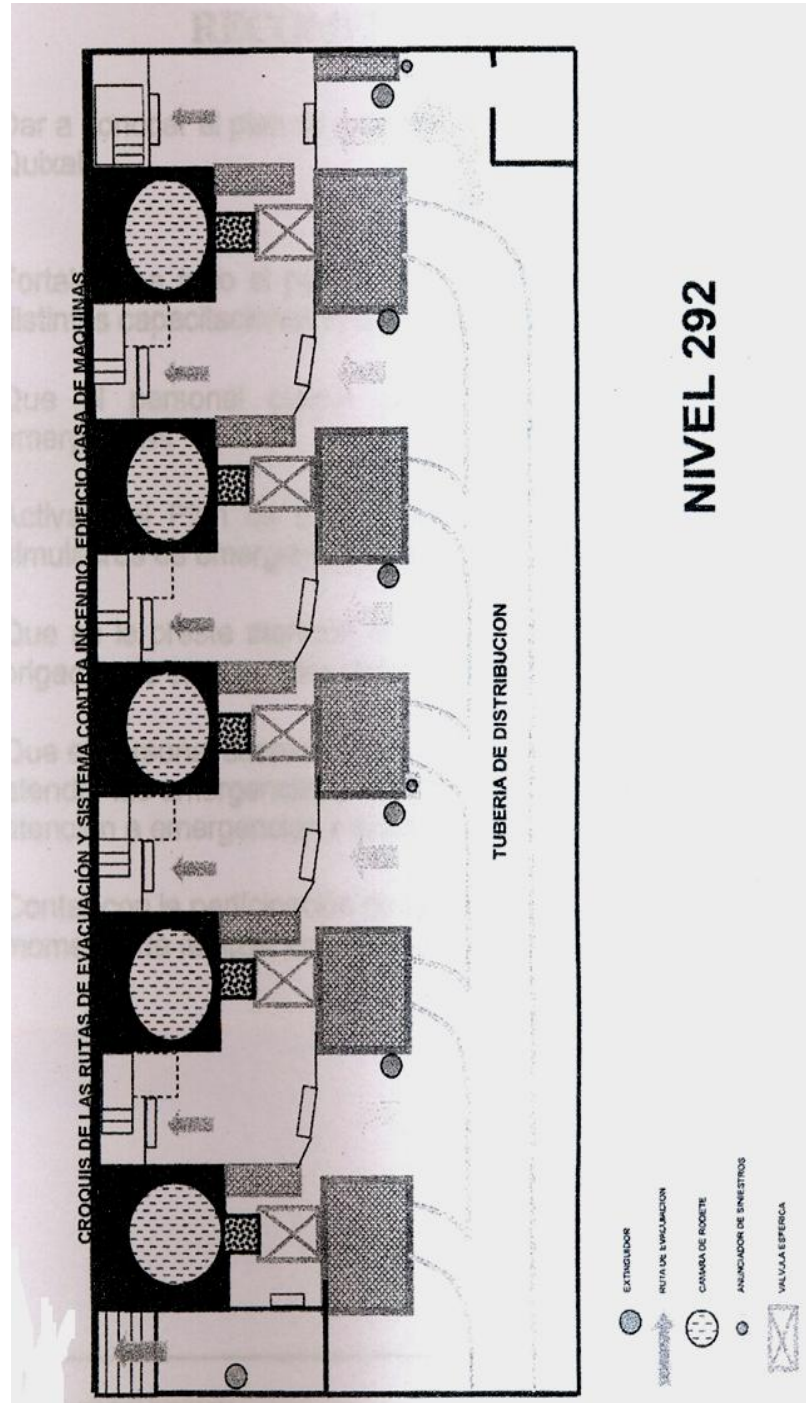


Figura 41. Croquis Nivel 296.50



Fuente: Departamento de Seguridad Industrial.

Figura 42. Croquis Nivel 292



Fuente: Departamento de Seguridad Industrial.



### **3. FASE TÉCNICO PROFESIONAL**

#### **3.1. Propuesta técnica**

##### **3.1.1. Situación actual de la planta**

La hidroeléctrica Chixoy desde su construcción hasta nuestros días no ha tenido modificaciones de mayor relevancia, dando la oportunidad de hacer implementaciones para aumentar su eficiencia, como también reducir fallas causadas por el tiempo de puesta en marcha de la planta para la generación de energía eléctrica.

Los equipos de regulación suministrados por ESCHER WYSS para las turbinas Pelton de 6 toberas PUEBLO VIEJO-QUIXAL Para la regulación de la velocidad/Potencia están diseñadas para arranque y parada automáticos así como para el servicio totalmente automatizado.

- Codificación del equipo
  - Cada dispositivo se encuentra identificado por cuatro dígitos por motivos de identificación en planos y listados dentro de los manuales de la planta y a petición del jefe de planta se utilizó la codificación ya preestablecida para la identificación de cada dispositivo.

El regulador (1080) genera en los servomotores de los deflectores y de las agujas las fuerzas para posicionarlos. El grupo de bombas (1000/1010) allí instalado introduce aceite en el acumulador del aceite a presión (1030) el cual

mantiene la presión de trabajo en un nivel entre 34 - 37 bar mediante una capa de aire a presión contenida dentro.

El servomotor del deflector (2153) es accionado por la válvula de distribución (2100), los servomotores de las agujas (2173/1-6) son accionadas por las válvulas de mando (2172/1-6) por medio de aceite a presión procedente del acumulador del aceite a presión (1030) o de una tubería forzada.

Los servomotores (2153) respectivamente (2173/1-6) por motivos de seguridad están diseñados de forma que cierran si se quedan sin aceite a presión.

El servomotor del deflector está dotado de un cilindro de cierre accionado por agua. Una presión constante, no regulada, de cierre del agua de la tubería forzada genera una tendencia a cerrar el servomotor.

Las agujas están diseñadas de tal forma que la presión del agua que reina en la tobera empuja la aguja a la posición de cierre en caso de pérdida de presión del aceite.

Los diafragmas de cierre de los servomotores están colocados de tal manera, por motivos de seguridad, que también en el caso de una rotura de tubería en el servomotor del deflector o en la válvula de mando de la aguja se impida un cierre demasiado rápido.

### **3.1.1.1. El circuito de regulación (función del equipo de regulación)**

La medición de la velocidad de la turbina sucede sin contacto con el eje de la turbina por medio de la sonda digital de velocidad (f2371/1) y de la rueda dentada ajustada al eje. La sonda (receptor de impulsos electromagnéticos) transmite los impulsos (1 diente = 1 impulso) al ETR 20. La platina de medición de velocidad EDT 22 incorporado al ETR 20 transforma la señal digital (0-3600 Hz = 0-200% velocidad de la turbina) en una señal análoga (0 – 10 v.).

Si existe una diferencia de velocidad (la comparación tiene lugar en el print RPV 10) el ETR 20 (print EPR 11) transmite la señal eléctrica correspondiente a la servoválvula (s2390).

La servo válvula (= transductor electro-hidráulico) transforma la señal eléctrica (mediante de un sistema inyector/placa de choque) en una señal hidráulica proporcional.

La señal hidráulica acciona la válvula de distribución del deflector (2100) a través del servomotor de mando preliminar (2392).

- Orden de apertura (P. ej. Velocidad demasiado baja)
  - La válvula de distribución (2100) dirige aceite a presión del acumulador de aceite (1030) al servomotor del deflector. El cilindro de apertura (2153/1) y el émbolo del servomotor son impulsados en la dirección de apertura contra la presión del agua en el cilindro de cierre (2153/2).

- Orden de cierre (P. ej. Velocidad demasiado alta)
  - La válvula de distribución (2100) dirige el aceite a presión del cilindro de apertura (2153/1) al tanque y la presión del agua en el cilindro de cierre (2153/2) empuja al émbolo del servomotor en la dirección de cierre.

La posición del émbolo del servomotor del deflector se transmite:

- Eléctricamente a través del transmisor de la señal de retorno (f2154) (0-20 ma = 0-100% carrera) al ETR 20.
- Mecánicamente por medio del vástago de sujeción (2154) al dispositivo manual de mando.

El servomotor del deflector acciona mediante el anillo de regulación:

- Directamente: Los 6 deflectores: la posición de los deflectores se transmite directamente al ETR 20.
- Indirectamente: Las 6 agujas: las curvas de mando deflector/aguja (2165) sujetas al anillo de regulación accionan por medio de un varillaje las válvulas de mando de la aguja correspondientes (2172), que posicionan los servomotores de las agujas (2173). La posición de la aguja se transmite mecánicamente a la válvula de mando de la aguja. La comparación valor nominal/valor efectivo tiene lugar en la válvula de distribución (2172).

La diferencia de velocidad originada por el cambio de posición del deflector, respectivamente de las agujas, es a su vez medida por la sonda digital de velocidad (f2371/1), con lo cual se cierra el circuito de regulación.

Descripción detallada del equipo de regulación (parte hidráulica).

Regulador hidráulico (1080)

Generalidades

Datos:

Tipo:	P1-6/WO		
Trabajo de regulación:	E (deflector) = 26 000		Nm
	E (agujas) = 6 x 15 000		Nm
Presión de servicio:	Po/Pu* = 37/34		bar
Presión final	pe = 27		bar
No.- de serie:	1348		
No.- de regulador	5528/5529/5530/5531/5532		
Año de construcción:	1980		
Dimensiones:	Largo = 2 400		mm
	Alto = 1 824		mm
	Ancho = 3 040		mm
Peso sin aceite:	aprox. 5 400		kg
Peso con aceite:	aprox. 7 400		kg
Volumen máximo del aceite	aprox. 2 500		l

El regulador hidráulico (1080) está diseñado de tal forma que establece una unidad junto con el abastecimiento de aceite a presión y con la válvula



hidráulica distribuidora. La parte inferior está diseñada como depósito, que puede contener todo el aceite necesario para la regulación.

- $P_o$  = Presión superior de servicio
- $P_u$  = presión inferior de servicio

### **3.1.1.2. Bombas de aceite a presión (1000/1010)**

El aceite a presión es generado por 2 bombas ALLWEILER de husillo helicoidal (1000/1010). Cada una es accionada por un motor trifásico (m1000/m1010). Las bombas montadas verticalmente aspiran el aceite a través de un filtro de aspiración (1194/1195) y transportan el aceite a través de un filtro del regulador de presión (1002) y del filtro doble (1085) al acumulador del aceite a presión (1030).

Al arrancar la turbina se arranca sólo una bomba (bomba principal de aceite). Esta se para cuando la turbina se detiene. Esta bomba mantiene durante el servicio de la turbina la presión de servicio del aceite (34 – 37bar) en el acumulador del aceite a presión (1030).

Si la presión del aceite alcanza la presión inferior de servicio  $p_u=34$  bar, el regulador de presión (1002) conmuta de forma que el aceite transportado por la bomba sea dirigido al acumulador del aceite a presión. El regulador de presión maniobra tan pronto se alcanza la presión superior de servicio  $p_o= 37$  bar. El aceite transportado por la bomba principal de aceite es dirigido sin presión al colector de aceite.

En el caso que la presión de servicio en el acumulador del aceite a presión (1030) descienda durante el servicio por debajo de  $p_u = 34$  bar (p. ej.

avería de la bomba principal), el presostato (e1000/3) arranca la bomba de aceite de reserva y da alarma a una presión del aceite de 33 bar.

La bomba de aceite de reserva es parada por el presostato (e1000/4) a una presión del aceite de 36,5 bar antes de alcanzar la presión superior de servicio  $p_o=37$  bar.

La bomba de reserva mantiene la presión de servicio del aceite en el acumulador del aceite a presión (1030) mientras la turbina está parada. La bomba de reserva es conectada por el presostato (e1000/3). La bomba de reserva se desconecta al alcanzar  $p_o=36,5$  bar por el presostato (e1000/4).

Las válvulas de retención (1006/1016) permiten un flujo libre desde la bomba (1000/1010) en dirección al acumulador del aceite de presión (1030) e impiden el vaciado del acumulador en caso de parada de la bomba.

El aceite a presión de la bomba (1000/1010) pasa durante el proceso de relleno del acumulador de aceite (1030) a través del regulador de presión (1002) y del filtro doble conmutable (1085) y se filtra por tanto durante cada proceso de relleno.

El filtro doble conmutable es supervisado por un indicador eléctrico de polución (e1085). En caso de alarma se debe conectar manualmente el otro filtro.

La válvula manual (1123) se encuentra en servicio siempre abierta. Esta válvula sólo se puede cerrar durante revisiones o trabajos en el sistema de presión entre las bombas y la válvula manual. De esta manera no es necesario vaciar el acumulador.

El depósito de aceite puede ser vaciado por medio del grifo de vaciado (1048).

### **3.1.1.3. Dispositivo regulador de presión**

Se compone de 3 válvulas:

- Regulador de presión (1002)
  - Cuando el émbolo (pos. 003) se encuentra en la posición superior: Flujo sin presión del volumen de aceite transportado al depósito.
  - Cuando el émbolo se encuentra en la posición inferior: el caño de descarga al depósito está cerrado; el volumen de aceite transportado se dirige al acumulador del aceite a presión (1030).
- Válvula de mando preliminar (1003)
  - Mide la presión del aceite en el acumulador del aceite a presión (1030 conexión p). El émbolo (pos. 3) es empujado por el muelle (pos. 5) contra la presión existente del aceite.
  - Baja la presión del aceite hasta  $p_u = 34$  bar, entonces el émbolo (pos. 3) dirige el aceite a presión a través de un taladro en el cilindro superior del regulador de presión (1002) y dirige al mismo tiempo el aceite contenido en el cilindro inferior al depósito de manera que el émbolo principal (pos. 003) es impulsado hacia abajo.

- Sube la presión del aceite hasta  $p_o = 37$  bar. Entonces el émbolo (pos. 3) es impulsado hacia abajo de forma de aceite a presión es dirigido al cilindro inferior del regulador de presión. Como la superficie inferior es mayor que superficie superior del émbolo principal (pos. 003), éste es empujado a la posición superior.
  - El ajuste de los puntos de conmutación  $p_o/p_u$  tiene lugar mediante el muelle (pos. 5) dependiendo la histéresis (diferencia de conmutación  $p_o/p_u$ ) de la característica del muelle.
- Válvula de mando para arranque sin presión de la bomba
  - Esta válvula conmutadora está montada entre la válvula de mando preliminar (1003) y el regulador de presión (1002).
  - Si la bomba esta parada, el muelle (pos. 011) empuja al émbolo (pos. 008) a la posición superior. De esta manera se comunican los cilindros superior e inferior del regulador de presión. La presión del aceite del acumulador actúa sobre los 2 cilindros y empuja al émbolo principal (pos. 003) a la posición superior.
  - Si la bomba está en servicio, la presión originada en el regulador de presión empuja el émbolo (pos. 003) a la posición inferior. De este modo quedan separados hidráulicamente los cilindros superior e inferior del regulador de presión. La posición del émbolo principal (pos. 003) está ahora determinada por la válvula de mando preliminar.

- Un diafragma (pos. 022) permite que al arrancar la bomba el émbolo (pos. 008) sea conmuta lentamente y así el émbolo principal (pos. 003) reaccione con cierto retardo al arranque.

El filtro (1086) destila el aceite de mando preliminar para evitar perturbaciones en la función de la válvula de mando preliminar (1003) debidas a la suciedad. El filtro es supervisado en el indicador eléctrico de polución (e1086).

#### **3.1.1.4. Acumulador de aire (1052)**

En el acumulador del aceite a presión se encuentra un volumen de aceite, que es mantenido bajo presión por medio de una capa de aire a presión. El volumen de gas que difunde en el aceite y llega al sumidero a través de las válvulas de mando debe ser repuesto. Esta “perdida de aire” se hace notar puesto que el nivel del aceite en el acumulador del aceite a presión (1030) se eleva cada vez mas. El contacto (b1040/6) vigila el alto nivel del aceite y da la orden “conectar la reposición de aire”.

Descripción de la función:

A. B1040/6: arranque de la reposición de aire.

- La válvula de distribución (1055) es conmutada (imán “a” activado).
- El émbolo de (1054) es apretado por el muelle hacia abajo, de manera que pueda ser “aspirado” aire para el acumulador.
- Cuando el regulador de presión (1002) conmuta a 34 bar a “transporte en el acumulador de aire a presión”:

- El émbolo (1053) es apretado contra el muelle y el acumulador de aire (1052) llenado con aceite.
- El aire en el acumulador de aire (1052) es comprimido e introducido en el acumulador del aceite a presión (1030).
- Cuando se alcanza  $p_o = 37$  bar en el acumulador del aceite del aceite a presión (1030), el regulador de presión (1002) conmuta a “circulación”.
- El émbolo (1053) devuelve a la posición de salida por medio del muelle, de esta manera el acumulador de aire, (1052) que está lleno de aceite, se vacía al aspirar aire a través de la válvula de admisión de aire (1054).
- Si el regulador de presión (1002) conmuta otra vez a “transporte”, se repite este proceso mientras el contacto (b1040/6) esté activado.

B. b 1040/7 “parada” de la reposición de aire.

- La capa de aire en (1030) se rellena hasta que el contacto (b1040/7) señala que la relación de volúmenes aire/aceite es normal.
- La válvula de distribución (1055) es conmutada otra vez (imán “a” no activado).
- El émbolo de (1054) cierra contra el muelle, la entrada de aire está cerrada.

Reposición de aire acabado: si el aceite en el acumulador del aceite a presión (1030) alcanza otra vez el nivel (b 1040/6), comienza el proceso de reposición de aire.

### 3.1.1.5. Supervisión de la presión del aceite

Se efectúa:

- Por medio de presostato
  - Alcanza la presión del aceite un valor más elevado que la presión superior de servicio  $p_o = 37$  bar, entonces el presostato (e1000/9) da la alarma a una presión de aprox. 39 bar y a fin de proteger la central se desconectan las bombas de aceite (1000/1010).
  - Si la presión del aceite alcanza un valor por debajo del punto de contacto de la bomba de aceite de reserva, entonces el presostato (e1000/1) provoca aprox. 30 bar un cierre rápido I.
- Por medio de la válvula limitadora de presión (1007):  
Esta abre cuando se alcanza aprox. 40 bar y deja pasar el aceite a presión al colector.
- Por medio de la válvula de presión mínima (2140)
- Visualmente :
  - Por medio un manómetro (1043) en el acumulador del aceite a presión (1030).
  - Por medio de un manómetro (1126) en el tablero de mandos del regulador hidráulico (1080).

### 3.1.1.6. Dispositivo manual de mando (2350)

Con el dispositivo manual de mando (2350) es posible arrancar la turbina sin el regulador electrónico ETR 20, sincronizarla, ponerla bajo carga y pararla, a saber:

- Local: por medio del volante manual (2351) en el regulador (1080).
- A distancia: accionando el motor de corriente continua (m2351) a través de pulsadores en la sala de mando o a través de contactos en la automática.

#### Condición

Las válvulas de maniobra (s2160/1&2) deben encontrarse en posición “manual”. Esta posición será indicada en el tablero indicador del regulador electrónico (caja de bornes No.- 5) color “rojo”.

En esta posición el servomotor de mando preliminar (2392) “desconecta” la servoválvula (s2392), es decir el influjo de la servoválvula sobre el servomotor de mando preliminar (2392) queda eliminado. El cilindro de apertura de (2392) es accionado con aceite a una presión constante y mantiene el émbolo del servomotor de mando preliminar en la posición de apertura.

Debido a esto se puede mover libremente, por medio de un dispositivo de palanca, el émbolo de mando preliminar de la válvula de distribución (2100) de la posición normal (= posición media) hacia arriba o abajo (+ o – 10mm).

Ejemplo de función:



## Apertura del servomotor (2153)

### Punto de partida

- Servomotor (2153) cerrado
- Dispositivo manual de mando (2350) cerrado
- Embolo de mando preliminar en posición media

Girando (hacia abajo) el husillo que se encuentra aproximadamente en medio de (2350) se aprieta también de la posición media hacia abajo el émbolo de mando preliminar que está tensado contra la palanca por medio de muelles de tracción.

El émbolo principal de mando se mueve hacia abajo, según la carrera del émbolo de mando preliminar y el servomotor del deflector abre.

Si p.ej. se detiene el dispositivo manual de mando con una abertura de 20%: por medio del vástago de sujeción (2154) se transmite continuamente la posición del servomotor del deflector (2153) a la palanca y a 20% de abertura se encuentra también el émbolo de mando preliminar otra vez en la posición media de la válvula, el servomotor del deflector (2153) se detiene en esta posición.

Al cerrar se invierte el orden

La posición del dispositivo manual de mando (2350) es visible en el tablero indicador del regulador (1080) en el instrumento indicador (2352/2), aguja.

El dispositivo manual de mando tiene la función de un dispositivo de seguridad superpuesto al ETR 20 con una escala de regulación.

Si se regula el dispositivo manual de mando al 60% de abertura del servomotor del deflector, entonces le es al ETR 20 solamente posible alcanzar con el servomotor del deflector una abertura máxima de 60% aún cuando el valor nominal del ETR 20 sea de 100%. Así es posible cerrar el servomotor del deflector en cualquier momento, independientemente del valor nominal del ETR 20 (por medio del volante manual 2351 en el tablero del regulador 1080 o a distancia por medio del motor de corriente continua m2351).

#### **3.1.1.7. Servoválvula (s2390), (servicio con ETR 20)**

Condición: las válvulas de maniobra (s2160/142) deben encontrarse en posición “automático”. Esta posición será indicada en el tablero indicador del regulador electrónico (caja de bornes No.- 5). La lámpara piloto No.- 6 luce “verde”.

La servoválvula de dos escalones REXROTH (s2390) controla al servomotor de mando preliminar (2392), el cual acciona directamente al émbolo de mando preliminar de la válvula de distribución (2100), el cual a su vez controla al émbolo principal de mando.

- Apertura del servomotor del deflector (2153): el servomotor de mando preliminar (2392) se mueve hacia abajo.
- Cierre del servomotor del deflector (2153): el servomotor de mando preliminar (2392) se mueve hacia arriba.
- Parada del servomotor del deflector (2153): el servomotor de mando preliminar (2392) se encuentra en la posición media.

La válvula de cierre (2142) se maniobra durante la parada de la turbina de forma que el flujo quede parado en el mando preliminar de la servoválvula (s2390) (cada 2L/min) y las pérdidas del acumulador se reduzcan a un mínimo. La posición de la válvula (2142) se indica en el tablero indicador del armario de regulación eléctrico (caja de bornes No.- 5).

El filtro doble conmutable filtra el aceite necesario para el mando preliminar de la servoválvula (s2390) para eliminar las posibles perturbaciones originadas por la suciedad. En caso de alarma originada por el indicador de polución (e2374) se conecta el otro filtro durante el funcionamiento de la turbina y se cambia el cartucho ensuciado.

#### **3.1.1.8. Circuito de mando**

##### **A. Circuito de mando del deflector (válvula de distribución)**

El servomotor del deflector (2153) abre, respectivamente cierra en régimen normal de turbinaje a través de la válvula de distribución (2100), que tiene la función de un amplificador hidráulico.

La válvula de distribución (2100) puede ser accionada de 2 maneras diferentes:

- En servicio con el ETR 20 por medio de la servoválvula (s2390)
- En servicio con el dispositivo manual de mando (2350) por medio de varillaje mecánico.

Para abrir el servomotor se dirige aceite a presión del acumulador (1030) a través de la válvula de distribución (2100) al cilindro de apertura (2153/1).

Para cerrar el servomotor la válvula de distribución (2100) dirige al aceite que se encuentra en el cilindro de apertura al depósito. La constante presión del agua de la tubería forzada que reina en el cilindro de cierre (2153/2) empuja el émbolo del servomotor hacia la posición de cierre. El aceite que se encuentra en el cilindro de apertura es expulsado.

La velocidad de regulación del servomotor del deflector depende de:

En la apertura:

- De la posición del émbolo principal de mando de la válvula de distribución
- Del diafragma de apertura (2103) que determine la velocidad máxima de regulación

En el cierre:

- De la posición del émbolo principal
- Del diafragma de cierre (2104) respectivamente (2105 amortiguación final)

En el servomotor del deflector, el diafragma grande de cierre (2104) está instalado directamente en el cilindro de apertura. Además el último 10% de la carrera del servomotor está fuertemente frenado (amortiguación final) por medio del dispositivo de amortiguación (2105/1) del cilindro de cierre. Este dispositivo de amortiguación (2105/2) se encuentra también en el cilindro de apertura. Así queda garantizado que, aún en caso de rotura de tubería, la velocidad del émbolo no alcanza un valor demasiado alto no permitido.

La posición del servomotor del deflector es transmitida eléctricamente al ETR 20 por medio del transmisor de la señal de retorno (f2154). La señal de

salida 0 – 20 mA = 0 -100% abertura se transmite por un cable blindado por motivos de seguridad. De esta manera son eliminadas en su mayor parte las influencias perturbadoras (conexión/desconexión de imanes potentes, etc.)

El transmisor de la señal de retorno (f2154) está instalado en un chasis (2156) masivo. En este chasis se encuentran también los 9 contactos de fin de carrera (b2159/1-9) como indicadores de posición, cada uno de ellos puede ser colocado independientemente en una posición entre 0 y 100%.

Además se transmite la posición del deflector mecánicamente a través del vástago de sujeción (2154) al regulador (1080). Por una parte como realimentación para el dispositivo manual de mando (2350), por otra para el indicador de posición en el tablero indicador, instrumento indicador (2158/2), aguja negra.

El servomotor del deflector acciona por medio de la barra de regulación el anillo de regulación. Este anillo de regulación tiene 2 funciones:

- Acciona los 6 deflectores que están unidos directamente entre sí por un sistema de palancas.
- Acciona por medio de las curvas de mando (2165) (relación deflector/aguja), las cuales accionan a su vez una varillaje de distribución, las válvulas de distribución de las agujas (2172/1-6).

La curva de mando (2165) tiene el cometido de llevar la aguja a una posición correspondiente a una determinada posición del deflector. Esta relación entre las posiciones del deflector y de la aguja se deduce el diagrama plano No.- 3-831 784 359. Esta curva está diseñada de tal manera, que el

deflector (en movimientos normales de regulación) se encuentra siempre por encima del chorro.

Sobre esta curva corre una palanca de rodillos, que es apretada a la curva por medio de un peso. Esta palanca de rodillos acciona por medio de un varillaje de regulación el émbolo de mando preliminar de la válvula de distribución de la aguja (2172).

#### B. Circuito de mando del servomotor de la aguja

La válvula de distribución de la aguja (2172), para cada aguja una válvula, está colocada directamente sobre la boca de la tobera. La posición de la aguja se transmite mecánicamente al émbolo principal de mando de la válvula de distribución de la aguja.

Los diafragmas de cierre de la aguja se encuentran en la válvula de distribución de la aguja y están colocados de tal manera que el movimiento de cierre de la aguja tenga lugar según una ley de cierre por etapas (para reducir el golpe de ariete en la tubería forzada).

Además es posible escoger entre dos distintas leyes de cierre.

Esto tiene lugar manualmente por medio de la válvula manual (2190) que se encuentra en el tablero del regulador (1080).

Por medio de un botón giratorio se elige óleo-hidráulicamente la posición I o II de las 6 válvulas (2191/1-6) que se encuentran cerca de las válvulas de distribución de las agujas (2172/1-6).

Los diafragmas que se encuentran en las válvulas de distribución (2172/1-6) serán optimados durante la puesta en servicio.

La posición de cada aguja (2172) tiene una conexión propia para aceite a presión, que está unida con el acumulador del aceite a presión (1030) a través de las válvulas de distribución (s2176).

Las válvulas de distribución (s2176/1-6) están accionadas de tal forma en régimen de turbinaje con 6 toberas que permiten un libre flujo de aceite entre el acumulador (1030) y las válvulas de distribución de la aguja (2172/1-6). En esta posición esta activado el imán “b”.

En caso de que sea necesario cerrar una o varias agujas en régimen de turbinaje, la válvula de distribución (s2176) activa al imán “a”. De este modo quedan unidos el cilindro de apertura (2173/1) y el depósito de aceite (1080). Debido a la tendencia de cierre de la aguja, el aceite del cilindro de apertura es expulsado. Este aceite es transportado a través de una válvula de retención al cilindro de cierre que “aspira”. La aguja se mantiene cerrada debido al agua a presión contenida en la tobera.

### C. Circuitos de mando de seguridad

En el regulador (1080) existen 2 circuitos de parada de emergencia independientes el uno del otro. La activación del cierre rápido y del cierre de emergencia tiene lugar según el programa arranque/cierre  $\frac{3}{4}$  respectivamente.

#### D. Circuito de cierre rápido

En la parte inferior de la válvula de distribución del deflector (2100) está incorporado un “émbolo de cierre rápido”. Este émbolo está apretado hacia abajo contra un muelle de cierre por medio de aceite a presión durante el servicio normal. Este aceite a presión proviene del acumulador (1030) y se dirige al cilindro de apertura del “émbolo de cierre rápido” a través de las válvulas de presión mínima (2140) y de cierre rápido (s2130).

En caso de cierre rápido se conmuta la válvula de cierre rápido (s2130), (imán “a” activado) de manera que el aceite a presión queda bloqueado y el aceite contenido en el cilindro de apertura se dirige al depósito de aceite (1080). El muelle de cierre empuja al émbolo de cierre rápido hacia arriba y este empuja al émbolo de mando preliminar en la posición de cierre. De esta manera también el émbolo principal de mando es maniobrado hacia arriba en la posición de cierre en la cual se mantiene por medio del muelle de cierre del émbolo de cierre rápido.

En caso de cierre rápido a través de la válvula de presión mínima (2140) este proceso tiene lugar de la misma manera.

Sin embargo la conmutación de la válvula de presión mínima tiene lugar hidráulicamente:

- Activación a causa de presión mínima, solo hidráulica
- Activación por medio de la válvula de pre-mando manual (2137), que al ser conmutada en posición “c” dirige el aceite a presión de la válvula de mando preliminar (s2140) al depósito de aceite y bloque al aceite a presión del acumulador (1030).



## E. Circuito de cierre de emergencia

Entre la válvula de distribución (2100) y el servomotor del deflector (2153) está instalada la válvula de cierre de emergencia (2230).

En la posición de servicio el flujo de la válvula de distribución (2100) hacia el servomotor del deflector (2153) o viceversa es libre.

En la posición de cierre de emergencia el regulador es “desconectado” del servomotor del deflector (2153), es decir, bloqueada la unión entre la válvula de distribución (2100) y el servomotor del deflector (2153) y el aceite del cilindro de apertura (2153/1) se dirige al depósito de aceite (1080).

La válvula de cierre de emergencia (2230) consta de 2 etapas:

- La válvula principal de mando (2230): el émbolo es empujado en la posición de servicio por medio de aceite a presión contra el muelle de cierre. Tan pronto el aceite llegue a la presión adecuada. En caso de cierre de emergencia, sea desviado del émbolo, el muelle de cierre empuja al émbolo en la posición de cierre de emergencia. La posición del émbolo se transmite a la automática a través de los contactos de fin de carrera (b2230/1&2).
- La válvula de mando preliminar (s2230): esta válvula está instalada directamente sobre la válvula principal de mando (2230). En servicio normal esta válvula dirige aceite a presión al lado de apertura del émbolo de la válvula principal de mando (2230). El émbolo está fijado por medio de una muesca en esta posición.

En el caso de un cierre de emergencia es accionado el imán “a” y el émbolo es empujado a la posición de cierre de emergencia. En esta posición se dirige el aceite a presión por el lado de apertura del émbolo de la válvula principal de mando (2230) hacia el depósito de aceite.

El aceite a presión para el mando preliminar se toma del acumulador del aceite la presión (1030). Como medida adicional de seguridad se hace pasar la tubería del aceite a presión a través del detector centrífugo de sobre velocidad (s2231).

Esta válvula (s2231) es accionada por un regulador centrífugo en caso de sobre velocidad. El muelle de cierre empuja el émbolo de la válvula en la posición de cierre de emergencia. En la válvula de cierre de emergencia (2230) tienen lugar de manera análoga como en el accionamiento por medio de la válvula principal de mando (s2230).

El detector centrífugo (s2231) tiene que ser colocado manualmente en la posición normal después del arreglo de la avería.

La posición del detector centrífugo (s2231) es retransmitida eléctricamente a la automática.

### **3.1.1.9. Tablero indicador y de mando**

- Generalidades

En la parte frontal de regulador hidráulico (1080) se encuentra el tablero indicador y de mando. En este tablero se encuentran los siguientes instrumentos y aparatos de mando:

- Instrumentos (de arriba abajo/izquierda a derecha)

6	indicadores de posición de la aguja	0-100% (2174/1-6)
1	indicador de temperatura del aceite de regulación	0-100°C (1180)
1	indicador de presión del aceite de regulación	0-60 bar (1126)
1	indicador doble valor efectivo Posición del deflector, aguja negra Posición dispositivo manual de mando (2350), aguja roja	0-100% (2158/2) 0-100% (2352/2)
1	indicador de velocidad de rotación	0-200% (2375)
2	contadores de horas de servicio del motor: m1000 m1010 m1161	

- Aparato de mando

1	Válvula manual (2190) Posición izquierda: tiempo de cierre rápido Posición derecha: tiempo de cierre lento
1	Válvula selectora de presión: Posición A presión del aceite de mando Posición B presión del aceite de mando preliminar Posición C presión den el circuito de aceite de refrigeración

- 1 Volante manual (2351) para el dispositivo manual de mando (2350)  
Abrir: girar a la izquierda  
Cerrar: girar a la derecha
  
- 1 Válvulas de pre-mando manual (2137)  
Palanca en posición: servicio normal  
Palanca en posición inferior: cierre de emergencia  
Palanca en posición superior: compensación de presión (para 1048)

Válvula de mando, que accionan por medio de aceite a presión aparatos fuera del regulador (1080).

- válvula de mando preliminar para válvula de cierre del agua de refrigeración
  - Cuando el imán “b” está activado, queda bloqueado por la válvula de cierre (1820) el flujo del agua de refrigeración para los refrigeradores de la turbina, del generador y del aceite del regulador.
  - Cuando el imán “a” está activado, la válvula de cierre (1820) permite el flujo libre del agua de refrigeración para los refrigeradores de la turbina, del generador y del aceite del regulador.

La válvula de mando preliminar (s1820) puede ser también accionada a mano en casos de emergencia.

La válvula de cierre del agua de refrigeración (1820) es accionada hidráulicamente en ambos casos, teniendo que ser reducida la presión de servicio a 9 bar.

Esto sucede por medio de la válvula reductora de presión (1821) que está unida con la válvula de mando preliminar (s1820) en un bloque.

- válvula de distribución para accionamiento de la válvula de la tobera de freno (2179)

Para abrir la tobera de freno se activa el imán “a”.

Para cerrar la tobera de freno se desactiva el imán y la válvula vuelve a la posición de cierre por medio del muelle de cierre.

La tobera de freno abre por medio de aceite a presión y cierra por medio de agua de cierre.

- válvula de mando preliminar para accionamiento de la válvula de cierre (2630)
  - Cuando el imán “b” está accionado: (= turbina fuera de servicio). El aceite a presión está bloqueado por la válvula de mando preliminar (s2630) y así se cierra la válvula de cierre (2630) con la fuerza del resorte.
  - Cuando el imán “a” está accionado: (= sello del eje en servicio). El aceite a presión contenido en el servomotor del sello del eje es desviado al depósito de aceite. El sello que está dotado de muelles

de cierre es apretado contra el anillo rotante. Al mismo tiempo la válvula de cierre (2630) es conmutada por medio del muelle instalado en la válvula de mando de modo que el agua de obturación llega al sello del eje a través del filtro (2638) y del supervisor de flujo (e2639).

La presión de servicio permisible de 28 bar para la válvula de cierre (2630) está garantizada por la válvula reductora de presión (2631). La válvula de mando preliminar (s2630) y la válvula reductora de presión (2631) están unidas en un bloque.

#### **3.1.1.10. Sistema de refrigeración de aceite**

Para mantener la temperatura del aceite de regulación a un valor óptimo y uniforme, el regulador (1080) está dotado de un sistema de refrigeración de aceite separado e independiente de los otros sistemas.

La bomba de aceite de refrigeración (1161) accionada por el motor de corriente alterna (m1161) aspira el aceite de regulación a través del filtro de aspiración (1196) y lo bombea a través del refrigerador de aceite (1160) que se encuentra fuera del regulador (1080).

Desde allí se dirige otra vez al regulador (1080) donde fluye a través del filtro de retorno (1087) en el colector de aceite. El sistema está protegido por la válvula limitadora de presión (1163) en el caso que el refrigerador o el filtro estuviesen obstruidos.

El refrigerador de aceite, refrigerado con agua, la recibe a través de la válvula termostática (1165). Esta válvula mide la temperatura del aceite en el

depósito. Si la temperatura sobrepasa un cierto valor, abre. Desciende la temperatura por debajo del valor ajustado, se cierra otra vez.

Con este sistema de refrigeración de aceite se alcanza:

- Una temperatura constante del aceite de refrigeración, que es indispensable para una regulación uniforme (variaciones de la viscosidad pueden p.ej. cambiar los valores ajustados en los diafragmas).
- Filtración permanente del aceite en la derivación

### 3.1.1.11. Acumulador del aceite a presión (1030)

- Generalidades

#### Datos técnicos

Contenido	1,6	m <sup>3</sup>	
Presión de servicio	4,0	N/mm <sup>2</sup>	(=40,8 kp/cm <sup>2</sup> )
Presión de diseño	4,5	N/mm <sup>2</sup>	(=45,9 kp/cm <sup>2</sup> )
Presión de prueba	6,75	N/mm <sup>2</sup>	(=68,8 kp/cm <sup>2</sup> )
Acumulador No.-	7159/7160/7161/7162/7163		
Año de construcción	1980		
Altura máxima	3012	mm	
Diámetro interior	961	mm	
Peso aproximado	1850	kg	

- Descripción de la función

El acumulador del aceite a presión (1030) tiene por objeto mantener el aceite a la presión requerida y ponerlo a disposición del sistema en caso de movimientos de regulación (p.ej. abrir el deflector y las agujas).

Durante el servicio normal la parte superior (3/5) está llena de aire, en la parte inferior (2/5) se encuentra el aceite de regulación.

En la tubería de presión entre el acumulador del aceite (1030) y el regulador se encuentra la válvula manual (1124). Esta Válvula está siempre abierta durante el servicio normal.

La supervisión del estado de servicio del acumulador del aceite a presión tiene lugar:

- Presión: por medio de presostato que se encuentra en el regulador (1080).
- Nivel: por medio de indicador de nivel y dispositivo supervisor de Nivel.

El dispositivo para observar el estado de servicio del acumulador consiste en un tubo que está unido al lado del aceite, respectivamente al del aire. En este tubo flota un flotador que transmite su posición por medio de un imán a través del tubo no magnético al exterior. Acciona por una parte al indicador de nivel óptico, por la otra los contactos magnéticos del tubo, que pueden graduarse libremente.



- Por medio de la válvula de nivel mínimo (1048)

El flotador instalado en la válvula cierra la abertura que conecta con la válvula de mando preliminar (s2140) si el nivel baja a un valor mínimo permitido. A través del diafragma de la válvula (2142) se simula una presión mínima y la válvula de presión mínima (2140) inicia en la válvula de distribución (2100) un cierre rápido.

En la tubería de medida entre la válvula de nivel mínimo (1048) y la válvula de mando preliminar (s2140) se encuentra instalada la válvula de conmutación de emergencia (2137) que es accionada desde el tablero de mandos del regulador(1080). Con esta válvula manual en posición “b” se restablece la posición de servicio del flotador en la válvula (1048).

Procedimiento para restablecer la posición de servicio después de accionar la válvula (1048):

- Llevar el nivel del aceite en el acumulador (1030) al nivel de servicio
- Mover la palanca de mano de (2137) hacia arriba a la posición “b”
- Esperar aproximadamente 15 segundos
- Volver la palanca de mano de (2137) a la posición horizontal de servicio “a”
- La válvula de presión mínima (2140) se pone automáticamente en la posición de servicio

### **3.1.2. Descripción del proyecto**

En el siguiente proyecto describe un estudio del comportamiento del acumulador (1030) en su ciclo de 34 a 37 Bar, observando que la

compensación de aire para formar  $3/5$  partes de aire y  $2/5$  de aceite para realizar su trabajo de conservación de energía, evitar golpes de ariete y compensador de fugas, es muy tardado para reponer aire debido a fugas que provocan un procedimiento de compensación entre las unidades, el procedimiento es observar que unidad de las 5 tiene el nivel de aceite en el acumulador (1030), este notado en la columna de nivel y transferirlo del que tiene nivel de aceite bajo al que tienen nivel de aceite alto, el porqué de este procedimiento se realiza de esta manera es debido al que tiene nivel de aceite bajo mantiene un volumen más grande de aire, todo lo contrario con el que mantiene un nivel alto, al localizar estas unidades se deja pasar aire de una a otra y de esta manera compensarse entre ellas. Debido a esta problemática se optará a implementar acumuladores de vejiga con gas nitrógeno de manera independiente en cada unidad.

### **3.1.3. Ventajas y desventajas en la utilización de acumuladores de nitrógeno en el regulador hidráulico y análisis de los beneficios que se obtendrán con la implementación de acumuladores de nitrógeno.**

- Ventajas:
  - Alta velocidad de toma
  - Sin diferencia de presión entre el lado del líquido y el gas
  - Compacto de poco mantenimiento
  - Altas frecuencias de carga y descarga
  - Cero pérdida de presión debido a fugas
  - Alta presión
  - Alta durabilidad de la vejiga

- Desventajas:
  - No se puede llenar con otra gas como el oxígeno
- Análisis:

El siguiente análisis está basado en el consumo de aceite por parte de los servomotores y las agujas, debido a que estos son los que necesitan mayor cantidad para abrir o cerrar las agujas.

Tabla VII. **Consumo de Aceite**

Consumo de aceite			
Dispositivo	Apertura	Cierre	Total
Servomotor	10,72 l.	Por medio de agua	10,72 l.
Aguja	6,19 l.	9,41 l.	15,60 l.

Fuente: Manual Regulador Hidráulico

El valor total de la aguja se debe multiplicar por un factor de 6 debido a que son 6 agujas por unidad.

$$\text{Consumo total} = C_{\text{servo}} + C_{\text{agu}}$$

$$\text{Consumo total} = 10,72 \text{ l.} + 93,6 \text{ l.}$$

$$\text{Consumo total} = 104,32 \text{ l.}$$

La cantidad de aceite necesaria para mover los servomotores y las 6 agujas son 104,32 l.

Los beneficios a obtener con esta implementación son:

- Evitar la descompensación de cada regulador hidráulico
- Al momento de cambiar aceite al regulador hidráulico se podrá vaciar por completo los acumuladores debido a que estos siempre mantendrán su presión de precarga.
- Cada acumulador será independiente para cada unidad
- Se mantendrá un rango de trabajo estable en este caso de 34 a 37 Bar.

### **3.2. Modificaciones en el equipo del regulador hidráulico para la implementación de acumuladores de nitrógeno**

Debido al cambio del acumulador (1030) se deben hacer modificaciones dentro del regulador hidráulico como afuera de él.

Parte interna:

En la parte interna del regulador hidráulico se deshabilitará el acumulador de aire (1052), de la misma manera quedará fuera de servicio la válvula de distribución (1055), el émbolo de la válvula de admisión de aire (1054), como también el émbolo (1053) y la válvula de retención (1056) todas estas que funcionan al recibir la orden de alto nivel de aceite del contacto B1040/B.

Parte externa:

En la parte externa se eliminará el acumulador (1030) columna de nivel, la válvula de nivel mínimo (1048), se adaptará al juego de acumuladores de vejiga con su respectiva válvula preliminar (S2140), la conexión de suministro

general de aire, así como también la conexión entre acumuladores de las distintas unidades.

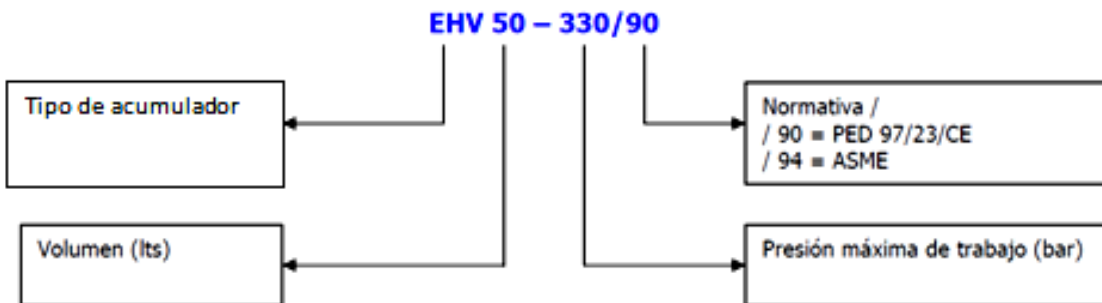
### 3.2.1. Tipos de accesorios a utilizar en la implementación

Observando catálogos el dispositivo más adecuado para el regulador hidráulico es el acumulador Marca: OLAER, Serie: EHV 50-330/90, debido al consumo de aceite que son 104,32 l. Se necesitará un banco de tres acumuladores de la serie antes mencionada.

#### Características del acumulador EHV 50-330/90

Codificación

Figura 43. Codificación



Fuente: Catálogo OLAER, Derechos Reservados 2010.

Características técnicas

- Acumulador hidroneumático a vejiga construido en acero forjado o inoxidable sin soldadura, equipado con una conexión a líquido con una robusta válvula anti-extrusión desmontable.

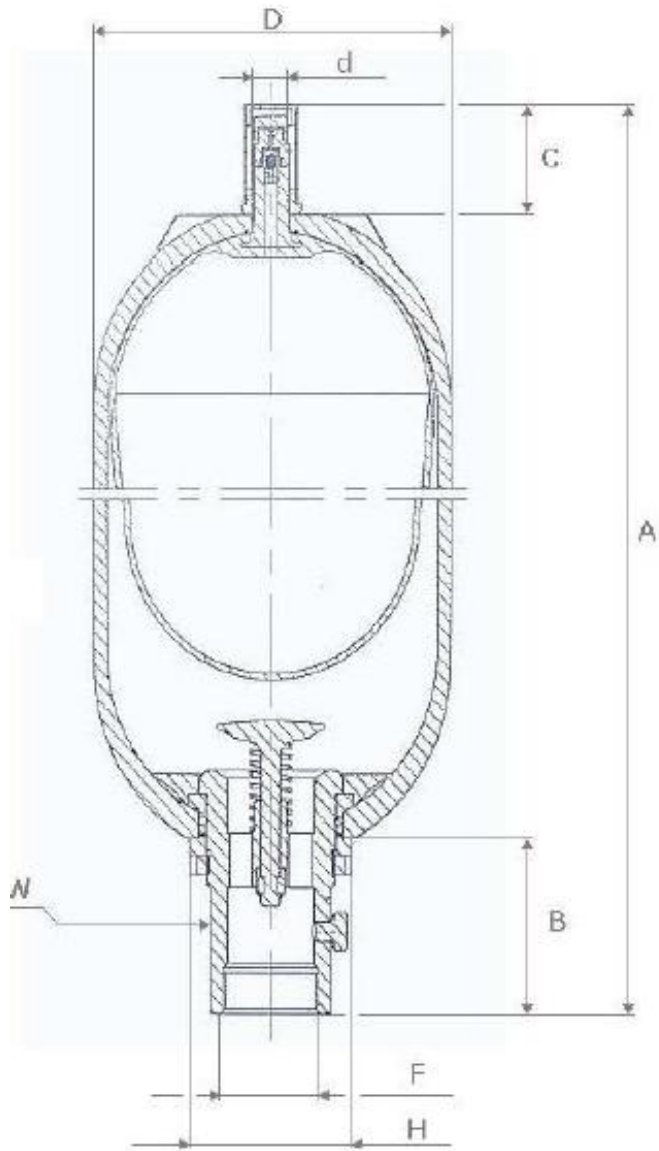
- Su presión de hinchado de 29 Bar, manteniendo un rango de  $0,9P_1 - 0,25P_2$ , su temperatura de servicio entre  $-15^{\circ}\text{C}$  y  $80^{\circ}\text{C}$ . Tipo de conexión por rosca, con bridas para acoplar a la rosca de conexión, su montaje en posición vertical.

Tabla VIII. **Especificaciones**

Modelo	Vol. de gas lts.	Presión Bar	Peso	Caudal l/min	Dimensiones mm							
					A	B	C	D	d	F	H	SW
EHV 50 330/90	48,5	330	100	900	1 939	103	70	222	51	G2"	101	70

Fuente: Catálogo OLAER, Derechos Reservados 2010.

**Figura 44. Acumulador Seccionado**



Fuente: Catálogo OLAER, Derechos Reservados 2010.

Lista de recambios

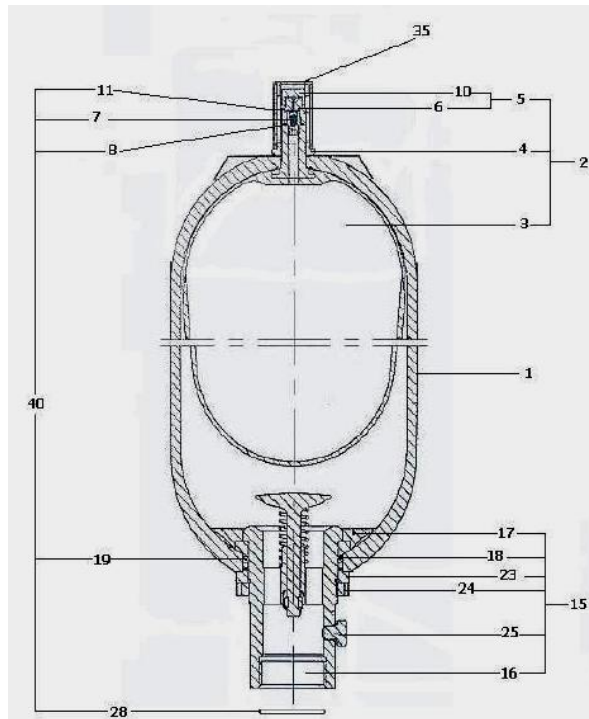
Tabla IX. **Listado de Recambios**

Partes de Recambio	
1	Cuerpo
2	Conjunto vejiga
3	Vejiga
4	Tuerca
5	Válvula de hinchado
6	Subconjunto de válvula
7	Junta de asiento del émbolo
8	Junta tórica
10	Tapón de la válvula
11	Junta plana
15	Conjunto válvula de seguridad
16	Subconjunto boca
17	Anillo articulado
18	Anillo anti-extrusión
19	Junta tórica
23	Anillo escalonado
24	Tuerca con ranura
25	Purgador y junta
28	Junta tórica
35	Tapón de protección
40	Juego de juntas

Fuente: Catálogo OLAER, Derechos Reservados 2010.



Figura 45. Partes de Recambio



Fuente: Catálogo OLAER, Derechos Reservados 2010.

Al nuevo sistema de acumuladores se deberá colocar un grupo de filtros. Los adecuados para este sistema son los filtros de presión Marca: INTERNORMEN Serie: HDD 170 – 450, para eliminar la suciedad del aceite y protección de la vejiga del acumulador.

#### Descripción

Los filtros dobles de presión con el cambio en el tipo de válvula son convenientes para una presión de trabajo hasta 315 bar. Los picos de presión son absorbidos por un margen de seguridad suficiente. Los filtros dobles se pueden mantener sin interrupción de las operaciones. La

parte superior cuenta con tres vías, válvula de conmutación que permite cambiar sobre el flujo el filtro sucio, por ser doble filtro se realiza un *Bypass* sin interrumpir la operación. El cambio de procedimiento no da lugar a una contracción de corte transversal. Una válvula de presión de equilibrio iguala la presión del sistema. Tras el cambio en el equilibrio de la presión de la válvula se cierra de nuevo. El cierre del filtro tiene que ser desangrado por un desairado, respectivamente.

#### Datos técnicos

Rango de temperatura:	-10 ° C a +80 ° C (por un corto tiempo 100 ° C)
Tipo de fluido:	Aceite
máxima Presión de trabajo:	315 bar
prueba de presión:	410 bar
sistema de conexión:	conexión de brida SAE 6000 PSI
material de la cubierta:	EN-GJS-400-18-LT, C-acero
material de sellado:	Nitrilo (NBR) o Viton (FPM).
Posición de instalación:	vertical
mini-conexiones:	G ¼
conexiones de purga de aire:	G ½

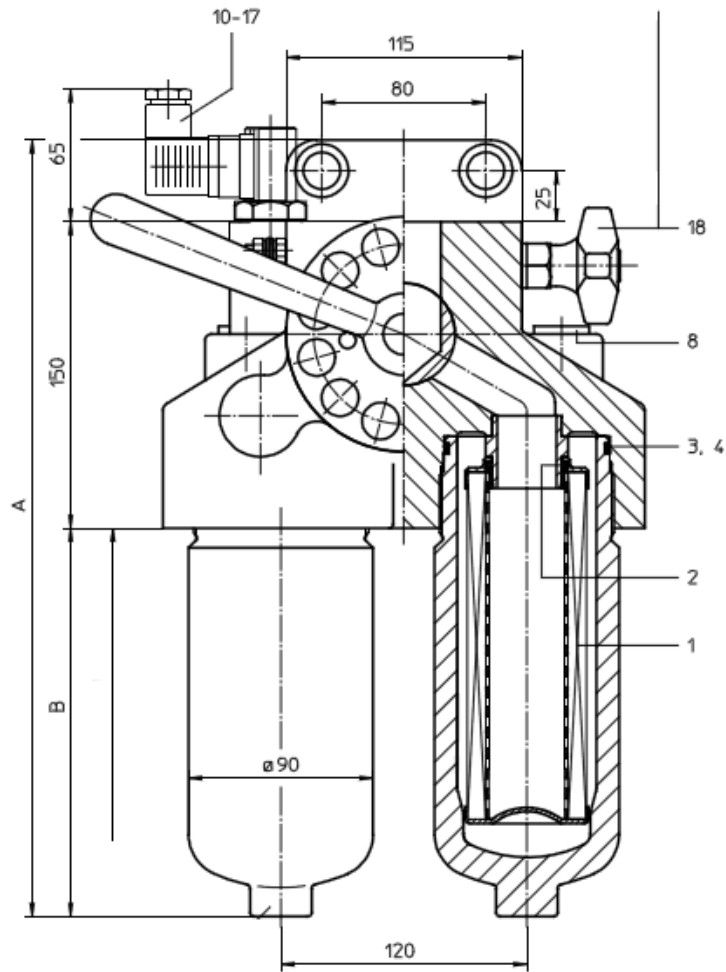
#### Dimensiones

Tabla X. **Dimensiones del filtro**

Tipo	Conexión	A	B	C	Peso (kg)	Volumen
HDD 170	SAE 1 ½"	380	190	350	39	2 X 0.7 lts.

Fuente: Catálogo OLAER, Derechos Reservados 2010.

Figura 46. Filtro seccionado y dimensiones



Fuente: Catálogo OLAER, Derechos Reservados 2010.

Tabla XI. **Parte del Filtro**

No.	PARTES
1	Filtro
2	Junta tórica
3	Junta tórica
4	Soporte de la junta tórica
5	Junta tórica
6	Soporte de la Junta tórica
7	Junta tórica
8	Tornillo de cierre
9	Tornillo de cierre
10	Indicador de suciedad
11	Indicador de suciedad eléctrico
12	Sensor de suciedad
13	Sensor de suciedad
14	Junta tórica
15	Junta tórica
16	Junta tórica
17	Tornillo de cierre
18	Válvula de equilibrio

Fuente: Catálogo OLAER, Derechos Reservados 2010.

Observando el consumo de aceite necesario para que el servomotor y las agujas realicen su trabajo es de 104,32 lts. por lo que se deberán instalar tres acumuladores por EHV 50-330/90. Debido a medidas de seguridad se colocará un acumulador extra que servirá para realizar mantenimiento a los

otros acumuladores. Cada acumulador tendrá su sistema de filtración HDD 170 – 450. En cada unidad de regulación de cada turbina se deberá instalar 4 acumuladores con su respectivo filtro, con un total de 20 acumuladores y 20 sistemas de filtración.

### **3.2.2. Tiempos de parada en la unidad para realizar la instalación del equipo**

Debido a las exigencias del Administrador de Mercado Mayorista (AMM) se debe solicitar con anticipación cada unidad para sacarla de servicio, el tiempo está estimado por servicios realizados anteriormente.

Por cada unidad se estima que se realicen de la siguiente manera:

• Vaciado del depósito del regulador hidráulico (1080)	1hr. 45min.
• Lavado del depósito del regulador hidráulico (1080)	1hr.
• Desensamble del acumulador (1030)	2hr.
• Instalación de acumuladores de vejiga	3hr. – 4hr.
• Llenado del depósito del regulador hidráulico (1080)	1hr. 45min.
• Precarga de acumuladores	15min.
• Revisiones y puesta en marcha	1hr.
Total:	10hr. 45min.

### **3.3. Estudio económico del proyecto**

Durante el período de realización del estudio se dieron los siguientes inconvenientes: la falta de información con respecto a precios por parte de los proveedores, ya que ellos para dar una cotización deben realizar un estudio del proyecto. Los precios que se darán a continuación fueron otorgados por grupo

OLAER, vía correo electrónico, con la condición de que era para realizar el trabajo de graduación para optar al título

### **3.3.1. Cotización del equipo**

#### **3.3.1.1. Cotización del acumulador de nitrógeno**

El acumulador de vejiga de nitrógeno Marca: OLAER, Serie: EHV 50-330/90, se encuentra a un valor de Q 22 891,41, se hace la salvedad que el tipo de cambio fue hecha el 1 de Octubre de 2010.

#### **3.3.1.2. Cotización de los accesorios**

- Filtro proveído por INTERNORNEN. Serie: HDD 170 – 450 con un valor de Q 6 230,84.
- Tubo de acero inoxidable de 35mm. con un valor de Q173,50.

### **3.3.2. Gastos por montaje**

El montaje de los acumuladores de vejiga de nitrógeno se instalará por el personal de trabajo de la Planta Hidroeléctrica Chixoy. Por lo concerniente no tendrá ningún costo económico para la Planta.

### **3.3.3. Inversión económica**

La inversión de la implementación de los acumuladores de vejiga se describe en la tabla siguiente:

Tabla XII. **Cotización de los Instrumentos**

<b>Cant.</b>	<b>Dispositivo</b>	<b>Código</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Total</b>
20	Acumulador de vejiga	EHV 50-330/90	Q 22 891,41	Q 457 828,20
20	Filtro de presión	HDD 170-450	Q 6 230,84	Q 124 616,80
7	Tubo de acero inoxidable 35mm.	-----	Q 173,50	Q 1 214,50
			Total	Q 583 659,50

Fuente: Catálogo OLAER, Derechos Reservados 2010.

## **4. FASE DE ENSEÑANZA – APRENDIZAJE**

### **4.1. Contenido**

#### **4.1.1. Programa de capacitación**

##### **4.1.1.1. Descripción**

Capacitación dedicada a estudiar: principios con que opera el sistema de regulación, tipos de acumuladores, funcionamiento del acumulador de vejiga, implementación de acumuladores de nitrógeno, análisis de riesgo al hacer procedimientos en los equipos.

##### **4.1.1.2. Objetivo general**

Que el personal:

- Recuerde y reconozca los conceptos y procesos de funcionamiento involucrados con el regulador hidráulico.

##### **4.1.1.3. Objetivos específicos**

Que el personal:

- Reconozca y opere los distintos dispositivos del regulador hidráulico
- Conozca y opere el acumulador de nitrógeno.



- Tome decisiones al momento de un suceso inesperado en los mantenimientos del equipo.

#### **4.1.1.4. Contenido del programa**

- Principios básicos del funcionamiento del regulador hidráulico
  - Definición de un fluido
  - Unidades de fuerza y masa
  - Viscosidad
  - Definición de presión
  - Fundamentos de la hidrostática
- Tipos de Acumuladores
  - Contrapeso
  - Cargado por muelle
  - De pistón
  - De gas no separado
  - De diafragma
  - De vejiga
- Funcionamiento del acumulador de vejiga
  - Descripción del acumulador Marca: OLAER, Serie: EHV 50-330/90
- Análisis de Riesgo

#### **4.1.1.5. Metodología**

Se impartirá un período de 1h. 30min. por una semana.

#### **4.1.1.6. Medios**

- Computadora
- Proyector multimedia
- Presentaciones
- Guía



## CONCLUSIONES

1. Se determinó que dentro de la planta existen altos estándares de seguridad, las probabilidades de riesgo se deben a que la planta está aislada de la sociedad debido a su ubicación, esto desencadena riesgos en la vulnerabilidad de la empresa ante actos intencionales de robo, hurto, así como en el transporte del personal a los pueblos más cercanos.
2. El equipo que se utiliza para la regulación de la velocidad es apto para implementar equipo con tecnología actual y así modernizar el equipo del regulador hidráulico, para minimizar las fallas y de esta manera mantener siempre la producción de energía eléctrica sin interrupciones debido a éstas, aumentando de este modo su eficiencia.
3. Realizado el estudio se estableció que la opción más adecuada para implementar acumuladores de vejiga, son los que ofrece Grupo OLAER. Con su gama de acumuladores se escogió el acumulador EHV 50-330/90 y los filtros marca: INTERNORMEN Serie: HDD 170 – 450, que cumplen con las necesidades.
4. En el estudio económico hubo la problemática de que los proveedores de los dispositivos no otorgaban precios si ellos no realizaban un estudio previo, en este estudio se especificó que los precios se requerían para un trabajo de graduación, por lo que Grupo OLAER concedió los precios, a causa de esto no se da veracidad en los precios propuestos.



## RECOMENDACIONES

1. Para el análisis del regulador hidráulico es conveniente actualizar los manuales debido a que han sido modificados o sacado de servicio dispositivos de éste.
2. Para operar de buena manera el sistema de regulación, es conveniente capacitar al personal con los principios en que se basa su funcionamiento para alcanzar un mejor desempeño del equipo.
3. Es conveniente digitalizar los planos del regulador hidráulico, para tener un mejor entendimiento del equipo o para realizar los mantenimientos y tener una idea mejor del objetivo a realizar.
4. En todos los talleres del Departamento de Producción es necesario supervisar y obligar que todo el personal lleve el equipo de protección adecuado y cumpla las normas y medidas de seguridad al momento de estar operando el equipo y en donde se estén realizando operaciones que pongan en riesgo su integridad física y la de los demás.



## BIBLIOGRAFÍA

1. HODSON, William K. *Manual del ingeniero industrial*. México: McGraw-Hill, 1996. 2218 p. ISBN: 9701011945.
2. Instituto Guatemalteco de Electrificación. *Apuntes de pláticas capacitación para operación y mantenimiento, Grupo Mecánico, Planta Hidroeléctrica Chixoy*. Guatemala: INDE, 1994. 156 p.
3. ----- . *Manual del Regulador Hidráulico, Planta Hidroeléctrica Chixoy*. Guatemala: INDE, 1981. 256 p. Tomo 3.1.
4. MUNSON, YOUNG, OKIISHI. *Fundamentos de mecánica de fluidos*, 4a. ed. México: Limusa – Wiley, 1999. 867 p. ISBN: 9789681850425.
5. STREETER, Víctor L. *Mecánica de fluidos*. Romeo Ros, Emilio (trad.). 9a. ed. México: McGraw-Hill, 2010. 740 p. ISBN: 9789586009874.





# **ANEXOS**



## ANEXOS

### VÁLVULA ESFÉRICA

Cada turbina en el lado de aguas arriba del caracol o sea de las agujas de chorro que le dan movimiento al rodete está provista de una válvula esférica marca HIDRO-PROGRESS como elemento de seguridad y para realizar trabajos de mantenimiento en el equipo aguas abajo y también para el cierre en caso de emergencia de la máquina.

### DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

#### Datos de la válvula esférica

Diámetro nominal	1300	mm
Presión de construcción	57,4	bar
Presión de prueba	86,1	bar
Caudal nominal	17	/ s
Presión de aceite de mando	27-40	bar
Tiempo de apertura (ajustable)	30-120	s
Tiempo de cierre (ajustable)	30-120	s

Las válvulas esféricas están diseñadas para cerrar bajo caudal máximo (17 /seg), sin esfuerzo inadecuado u oscilaciones y vibraciones. Las válvulas, en condiciones normales, se pueden abrir solamente cuando hay aproximadamente equilibrio de presiones entre aguas arriba y aguas abajo.

Cada válvula esta embridada en arrastre a fuerza en la tubería de presión por un lado atornillada elásticamente con una brida móvil al caracol de la turbina, a través de un tubo de desmontaje. El cuerpo de la válvula se apoya en un cimiento de hormigón y a través de un patín de deslizamiento fijado con pernos de fundación.

Cada válvula está formada esencialmente de las siguientes partes:

Carcasa de la válvula

Elemento obturador

Juntas de servicio y de revisión

Muñones con cojinetes deslizantes (2)

Equipo de engrase

Servomotor toroidal

Instalación de *bypass* para el llenado del caracol (tubería de distribución)

Desarenador y filtros

Equipo de mando hidráulico

Panel de mando eléctrico

El elemento obturador gira sobre cojinetes, dentro de la carcasa de válvula, de manera que en la posición de la válvula abierta se adapta al diámetro del tubo, que es de 1 300 mm. Y no crea ninguna pérdida de carga adicional ni distorsiones en el flujo. En las superficies adecuadas tiene unos recubrimientos de acero inoxidable, mecanizados con precisión y que sirven para la aplicación de las juntas de cierre. Las juntas de cierre son dos, una aguas abajo, denominada “Junta de Servicio” y otra aguas arriba, denominada “Junta de Revisión”. Cada junta está constituida por un anillo metálico de acero inoxidable mecanizado con precisión. Este anillo se desplaza en una cámara anular alojada en la carcasa de la válvula. El cierre tiene lugar por

contacto entre la superficie metálica del anillo de la junta y la superficie metálica mecanizada en la superficie del elemento obturador de la válvula. El anillo es presionado por agua dentro de su cámara anular, teniendo esta cámara sus empaques necesarios. La aplicación de las juntas se consigue mediante conmutación conveniente de unas válvulas de control.

Durante el servicio normal se aplica solamente la junta de servicio. La aplicación y retiro de la junta de servicio está gobernada por unas válvulas de control, de forma controladas automáticamente. Existen enclavamientos adecuados para impedir que la válvula pueda abrirse teniendo la junta de servicio aplicada y también, que pueda aplicarse la junta sin estar completamente cerrada.

La junta de revisión está provista esencialmente para permitir el cambio de la junta de servicio, y el vaciado del cuerpo de la válvula existiendo presión en la tubería forzada.

El movimiento del elemento obturador, para el cierre y la apertura se consigue mediante un servomotor toroidal con dos cilindros y dos pistones, uno para el cierre y otro para la apertura.

Para la apertura se debe enviar agua a presión al cilindro de apertura, mientras el cilindro de cierre se encuentre sin presión. Para el cierre se debe enviar agua a presión al cilindro de cierre y descargar la presión en el cilindro de apertura.

Cuando la válvula está abierta, en condiciones normales, se mantienen los dos cilindros bajo presión del agua.

La operación automática se consigue mediante las válvulas de control piloto actuadas por un solenoide, las cuales accionan los pistones de las válvulas principales de control.

Las válvulas piloto actúan con aceite hidráulico a presión proveniente del sistema del regulador de turbina. Las válvulas principales de control tienen acción combinada de aceite y agua, permitiendo el paso y la descarga del agua a los cilindros y cámaras anulares respectivas.

El agua de mando para el cierre y para la aplicación de las juntas, está tomada en el lado aguas arriba de la válvula esférica y es conducida a través de un desarenador y un filtro a la válvula de control y de esta al cilindro del servomotor.

El agua de mando para la apertura de la válvula esférica del lado aguas debajo de la misma, a través de un filtro, se conduce a la válvula de control, la cual, cuando esta conmutada adecuadamente, la envía al pistón de apertura del servomotor.

La operación de la válvula se efectúa generalmente por control remoto ya sea desde el tablero de control en el nivel 296.50, o desde la sala de mando o por circuito automático en secuencia de arranque o parada.

La válvula esférica cierra automáticamente cuando hay parada o de emergencia de la unidad, pero se mantiene abierta en paradas normales.

## **SISTEMA DE DEPRESIÓN DE AGUA (TWD)**

En casos excepcionales el nivel en el canal de desfogue puede alcanzar los 301.7 m.s.n.m. El rodete esta a nivel 294 m.s.n.m. Para poder operar las turbinas Pelton se necesita siempre de una mínima distancia libre entre el rodete y la superficie del agua, de manera que no se produzcan perturbaciones en el rodete por la zona de espuma y borboteo que se produce en la superficie. Para la operación con seguridad, esta distancia mínima de ser, en Chixoy, de no menos de 1,5 metros, lo que implica que el nivel máximo para operación no debe ser superior a 292.5 m.s.n.m.

En las circunstancias en que el nivel supere la cota 292 se utilizan cinco grupos turbina-compresor, uno por unidad, para bajar el nivel de agua en los pozos de la turbina introduciendo aire a presión para garantizar el espacio libre

Mínimo necesario para el rodete. Este sistema de depresión de nivel de agua esta denominado como TWD, abreviatura del ingles "*Tailwater Depression*".

Los datos técnicos del TWD son:

**Turbina:** tipo Pelton de eje horizontal, fabricante BELL/ESHER-WYSS, caída neta es de 390 a 520 metros, caudal consumido 0,0231 a 0,0264 metros cúbicos por segundo, potencia es de 75 a 115 KW, velocidad de 1 200 a 1 925 rpm.

**Engranaje:** relación de transmisión 2,04:1



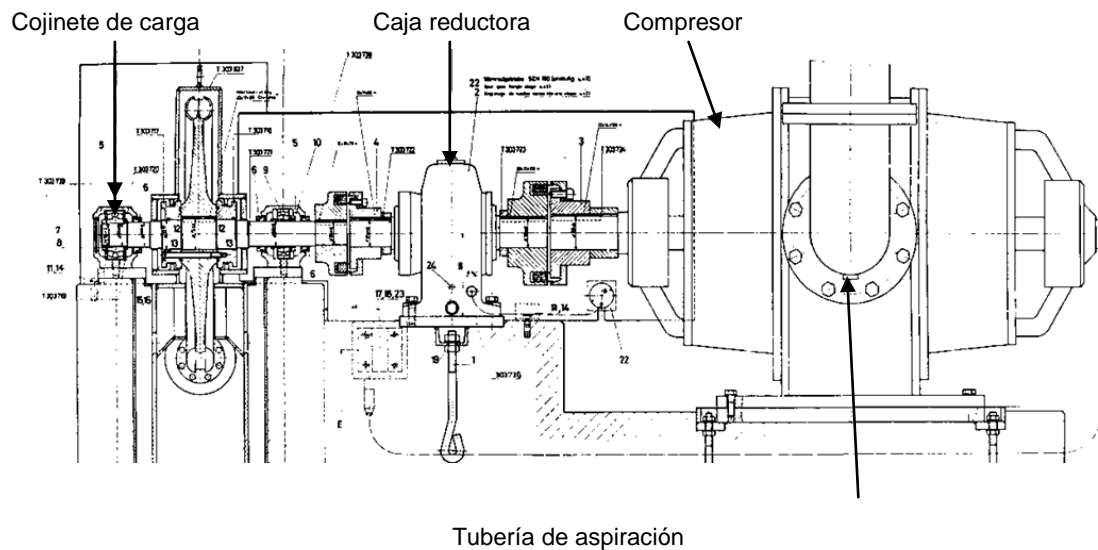
**Compresor:** volumen de aspiración 1 770 metros cúbicos por segundo, presión de aspiración es de 1 bar, velocidad 600 rpm, potencia absorbida es 15 KW.

Para la operación de las turbinas del sistema TWD, se instaló una derivación de 12"/8" desde la tubería de presión principal. De esta derivación hay un ramal de suministro de agua para cada grupo turbina compresor.

Normalmente cada grupo TWD está subordinado a su turbina principal, pero las tuberías de aire comprimido de cada grupo están unidas por un tubo colector común de manera que se pueden hacer las combinaciones convenientes para utilizarlos.

A continuación podemos apreciar los componentes del TWD

### Compresor de aire (TWD)



## **DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO**

El sistema TWD está provisto con los dispositivos de control y supervisión. El control eléctrico se puede realizar desde el tablero del sistema instalado en el piso de la turbina en la cota 296.5.

Las maniobras del sistema se pueden realizar por:

Mando manual local

Mando manual eléctrico

Mando automático

Para el control automático, la tobera de cada turbina de tener una apertura tal que la turbina llegue a 400-450 rpm.

La señal de arranque en automático se recibe cuando cualquiera de los dos equipos de medición detecta nivel de agua en el canal del desfogue de 292.00 m.s.n.m. Al detectar este nivel, todos los grupos conectados en auto se arrancan en la secuencia correcta. La velocidad de cada compresor tiene que ser manualmente ajustada por medio de la apertura de la tobera, de tal manera que la salida de agua del pozo de la turbina en el canal sea suave y sin muchas burbujas

## **GENERADORES**

Los generadores son de fabricación japonesa, de la marca Mitsubishi, sincrónicos, eje vertical, enfriados por aire en circuito cerrado, excitación estática. La capacidad nominal de cada generador es de 55,3 MVA, 13,8 Kv, a 60 Hz, con un factor de potencia de 0,85, 60 grados centígrados de aumento de

temperatura, 360 rpm y puede suministrar sobrecarga continua de 68,2 MVA sin exceder el aumento de temperatura de 80 grados centígrados.

El núcleo del estator está fabricado con laminación de acero-silicón, delgado en alto grado. Cada laminación está impregnada con barniz aislante en ambos lados. Las bobinas con resina sintética del estator están conectadas en estrella y aisladas con aislante de la clase F.

El rotor está diseñado para soportar los esfuerzos máximos producidos por la velocidad de embalamiento. Los 20 polos están fabricados con láminas finas de 1,6 milímetros de grosor. Las bobinas del campo están aisladas con aislante de la clase F. Los conductores amortiguadores de baja resistencia están provistos en los polos.

El eje del generador es de acero forjado tratado. El generador tiene un cojinete combinado de guía y empuje, instalado arriba del generador, transmitiendo los esfuerzos al estator.

Para el enfriamiento del generador hay seis enfriadores de aire simétricamente instalados alrededor del estator para mantener la temperatura promedio del aire enfriado menor de los 40 grados centígrados, cuando el generador opera continuamente con plena carga y sobrecarga continua, a tensión nominal y con temperatura no mayor que 25 grados centígrados.

## **SISTEMA DE EXCITACIÓN**

El sistema de excitación para cada generador es del tipo estático (MEC 3400) con los siguientes valores nominales:

### Datos técnicos de sistema de excitación

Capacidad nominal	194 KW
Voltaje nominal	200 V
Corriente nominal	970 A
Voltaje máximo	±250 V

El sistema está compuesto por los siguientes componentes principales:

Un transformador de excitación. Un banco de tiristores para rectificar la corriente alterna del transformador de excitación para la excitación del campo. Regulador de tensión para controlar la salida de los thyristores, interruptor del campo 1600 A, 500 V. Conjunto de relés de control, la posibilidad de la excitación inicial por batería 110 Vcc, sistema de alarma y anunciación y protección. Un transformador tipo seco 7.5 KVA, 460 – 25 V y un banco trifásico de rectificadores para la excitación inicial desde los servicios auxiliares de 460 v corriente alterna.

### TRANSFORMADOR DE EXCITACIÓN

La energía para el sistema de excitación del generador en operación esta derivada de los terminales del mismo generador, por medio del transformador de excitación, tipo seco, 350 KVA, 12 800 – 220 V, trifásico, de 60 Hz. El transformador está conectado al ducto de barras del generador.

La excitación inicial se suministrad la batería de 110 v de la planta por un transformador auxiliar de 7,5 KVA 460/25 v y un banco de rectificación. La selección de la batería es por medio de un conmutador instalado en el tablero

de excitación del panel del AVR, la alimentación normal de la planta es con corriente directa.

Cuando el generador alcanza 95% de la velocidad, se cierra el interruptor de excitación. Cuando el voltaje en los terminales del generador llega al 30% de su valor nominal, el sistema de excitación propia empieza a funcionar y produce un voltaje de salida. Con el aumento de voltaje del generador, la corriente de excitación es transferida automáticamente de batería a propia excitación. Cuando el voltaje del generador llega a aproximadamente el 70% de su valor nominal, desconecta el banco de baterías.

## **REGULADOR DE TENSIÓN (AVR)**

El voltaje del generador y la potencia reactiva del generador, están controlados por medio del ajuste de potencia de salida de los thyristores. Este ajuste se obtiene por el regulador de tensión. El regulador de tensión tiene dos modos de operación: manual y automático, determinados por la posición del conmutador de control, determinados por el conmutador de control (43-90) localizado en el tablero de excitación, panel del AVR.

La señal de tensión del generador para comparar con la tensión de referencia, se obtiene a través del transformador de tensión. La diferencia entre la tensión de referencia y la tensión en las terminales del generador, está procesada electrónicamente y utilizada para variar la potencia de salida de los thyristores. El voltaje de la referencia se puede ajustar al valor deseado por medio del conmutador 90/cs localizado sobre la consola de control en la sala de mando o en el tablero de control de la unidad en el nivel 296.5.

El regulador automático de tensión está provisto con los siguientes componentes adicionales:

**Compensador de Caída de Tensión de las Líneas:** este compensador permite la operación de los generadores en paralelo, los módulos del compensador están conectados de tal forma que el voltaje resultante disminuya proporcionalmente a la potencia reactiva de salida. Este compensador podrá ser usado para compensar la caída reactiva en los transformadores o en una línea de transmisión larga.

**Limitador de Excitación Mínima:** este impide la baja excitación del generador. El círculo de las características de limitación de excitación está fijado de acuerdo con la curva de capacidad y la curva de limitación estable del generador. Cuando el limitador opera, hay una señal de alarma local y en la sala de mando.

**Limitador de Excitación Máxima:** este evita que el AVR aumente de excitación fuera de su valor nominal y así protege las bobinas del campo del generador de cualquier sobre calentamiento. Cuando el limitador opera hay una señal de alarma local y en la sala de mando.

## **INTERRUPTOR DE CAMPO**

El interruptor de excitación conecta el circuito de la salida de los thyristores al campo del generador. En forma automática de operación de la unidad, el interruptor de excitación cierra automáticamente una vez que la unidad alcanza la velocidad de 95%, si no existe ninguna falla y el modulo 90E está en posición de marcha en vacío. El interruptor se puede cerrar manualmente desde el tablero de excitación.

El interruptor se dispara por los relés de parada pero solo cuando el interruptor del generador ya está abierto.

Al abrir el interruptor de excitación, se conecta automáticamente una resistencia para descargar la energía en los polos.

## **SISTEMA DE FRENOS MECANICOS Y GATOS**

Está compuesto por tres unidades repartidas simétricamente abajo del anillo del rotor, está provisto para cada generador con suficiente capacidad para parar la unidad del 20% de velocidad a 0% en 1,5 a 2 minutos. Los frenos operan con aire comprimido suministrado por el sistema de aire comprimido de la planta. Las mismas unidades de frenos están diseñadas para ser utilizadas como gatos hidráulicos para levantar el rotor del generador y el rodete de la turbina para cualquier trabajo, esta función se obtiene al utilizar aceite de alta presión en lugar de aire comprimido. Una bomba portátil de alta presión y de operación manual se puede colocar, cada generador tiene tuberías de presión de aceite, drenaje y aire con válvulas extendidas hasta afuera de la cámara del generador en un lugar accesible para la conexión de la bomba portátil.

## **CALENTADORES DE AMBIENTE**

Durante las paradas largas, los devanados del generador deben de ser protegidos contra la condensación por seis calentadores de ambiente cada uno de 3 Kw. Localizados dentro de la cámara del generador. Los calentadores deben de estar desconectados durante la operación de la máquina.

El interruptor y el control de los calentadores se encuentran en el centro de control de motores de cada unidad en el nivel 296.5.

## **BOMBA DE IZAMIENTO**

Cada generador está provisto dentro de la cámara del generador con una bomba de aceite de alta presión, para lubricar el cojinete de empuje cuando la velocidad del generador no es la suficientemente alta para auto lubricarse. La bomba se puede arrancar desde el centro de control de motores de cada unidad en forma de control manual. En la forma de control “auto”, la bomba se arranca cuando la válvula esférica se abre más del 30% y otras condiciones para el arranque para la unidad sean cumplidas. La bomba se para automáticamente cuando la unidad alcanza la velocidad de 95% del valor nominal. Durante la secuencia de parada, la bomba se arranca automáticamente cuando los relés maestros de arranque se des energizan para recibir orden de parada a la unidad y la bomba se para 90 segundos después de que la velocidad de la unidad llega al 0%. La presión de trabajo que alcanza la bomba es de 250 bar para poder levantar el eje y todos sus componentes.